



**TUGAS AKHIR - RE141581**

**Penentuan *Optimal Feeding Rate* Larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) dalam Mereduksi Sampah Organik Pasar**

**ELVITA SARI SARAGI  
3311100116**

**DOSEN PEMBIMBING  
Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD  
NIP. 198208042005011001**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



**TUGAS AKHIR - RE141581**

**Determination of Optimal Feeding Rate of Larvae Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) to Reduction Organic Market Waste.**

**ELVITA SARI SARAGI  
3311100116**

**DOSEN PEMBIMBING  
Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD  
NIP. 198208042005011001**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

### Penentuan *Optimal Feeding Rate* Larva *Black Soldier Fly (Hermetia illucens)* dalam Mereduksi Sampah Organik Pasar

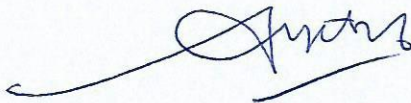
#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ELVITA SARI SARAGI**  
NRP. 3311100116

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD  
NIP. 198208042005011001



## **Penentuan *Optimal Feeding Rate* Larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) dalam Mereduksi Sampah Organik Pasar**

Nama Mahasiswa	: Elvita Sari Saragi
NRP	: 3311100116
Jurusan	: Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing	: Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD

### **Abstrak**

Larva *black soldier fly* (*Hermetia illucens*) dapat dimanfaatkan untuk mendekomposisi sampah organik dengan merubah sampah menjadi sumber protein yang dapat dijadikan pakan hewan. Kegiatan tersebut menjawab permasalahan sampah organik dari kegiatan pasar di daerah perkotaan, dan juga menghasilkan nilai ekonomis yang tinggi dibanding dengan pengolahan sampah organik dengan cara pengomposan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk: 1) menentukan kemampuan larva BSF dalam mereduksi sampah organik *biodegradable* pasar, 2) menentukan pengaruh tingkat pertumbuhan larva BSF berdasarkan komposisi jenis sampah dan *feeding rate* yang dilakukan, dan 3) menentukan karakteristik hasil dekomposisi sampah organik *biodegradable* yang dilakukan oleh larva BSF. Adapun variasi penelitian yaitu variasi dari jenis sampah pasar dan besarnya *feeding rate*, variasi *feeding rate* dibuat untuk menentukan kondisi optimum kemampuan larva *black soldier fly* dalam proses *feeding* dan variasi jenis sampah dibuat untuk mengetahui sumber nutrisi yang paling baik digunakan sebagai pakan larva *Black Soldier Fly*.

Penelitian ini dilakukan dengan menentukan persen reduksi sampah oleh *Black Soldier Fly* selama 21 har dengan mengukur berat kering sampah di awal penelitian, dan akhir penelitian. Adapun komposisi sampah ditentukan dengan uji kandungan rasio C/N di awal penelitian dan di akhir penelitian untuk mengetahui hasil dekomposisi sampah yang dapat dilakukan oleh larva *black soldier fly*. Larva yang digunakan adalah 200 ekor larva tiap reaktornya.

Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa tingkat reduksi sampah yang dapat dilakukan untuk jenis sampah sayur:buah adalah 51,91 %, sampah sayur:buah:ikan adalah 48,73 %, dan sampah jeroan ikan 39,91% %. Reduksi sampah berbanding lurus dengan kemampuan larva mengonsumsi sampah. Adapun kemampuan rata-rata larva BSF dalam mengonsumsi sampah sayur:buah, sayur:buah:ikan, dan ikan masing-masing sebesar 33,29 mg/larva.hari, 27,32 mg/larva.hari dan 20,73 mg/larva.hari. Rasio C/N residu sebagian besar sampah mengalami kenaikan disebabkan menurunnya kadar N total pada sampah residu. Rasio C/N rata-rata untuk sampah sayur:buah adalah 28,23, sampah sayur:buah:ikan adalah 28,48, dan sampah jeroan ikan 34,29.

Kata kunci : Larva *black soldier fly*, *feeding rate*, komposisi sampah, rasio C/N, reduksi sampah.

## **Determination of Optimal Feeding Rate of Larvae Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) to Reduction Organic Market Waste**

Student Name : Elvita Sari Saragi  
Student Reg. Number : 3311100116  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Arseto Yekti Bagastyo, ST.,  
MT., M.Phil., PhD

The Black Soldier Fly (BSF, *Hermetia illucens*) larvae can be utilised as an alternative method to reduce organic waste by converting it into a source of protein that can be used as animal feed. Such method can be an answer for problems in managing organic waste from market activities in urban areas. It also offers high economic value compared to the composting process. The purpose of this research were to 1) determine the ability of larvae BSF in reducing the biodegradable organic waste market, 2) determine the influence of waste composition and feeding rate on larvae growth rate, and 3) determine the characteristic of the biodegradable organic waste decomposed by BSF larvae. The variations of this research were waste composition and amount of feeding rate of organic market waste. Feeding rate variation was applied to determine optimum ability of black soldier fly in consuming organic waste, while waste composition was applied to know the nutrient source which suits the feed for BSF larvae.

This research was conducted by determine the percentage of waste reduction obtained by BSF larvae for 21 days through calculation of dry weight of the waste at the beginning and the end of the study, to find out the decomposition of organic waste obtained by BSF larvae. There were 200 larvae growth in each reactor.

The result showed that the organic waste reduction by BSF larvae for mixture of vegetable:fruit waste, a mixture of vegetable:fruit:fish waste, and fish waste was 51.91%, 48.73%, and 39.91%, respectively. In addition, the rate of BSF larvae in consuming a mixture of vegetable:fruit waste, a mixture of

vegetable:fruit:fish waste, and fish waste was 33.29 mg/larva.day, 27.32 mg/larva.hari, and mg/larva.day, respectively. The C/N ratio for most of the waste residues was increased due to reduction of total N in the residue. The average C/N ratio of waste residue for a mixture of vegetable:fruit waste, a mixture of vegetable:fruit:fish waste, and fish waste was 28.23, 28.48, and 34.29, respectively.

Keyword: black soldier fly larvae, C/N ratio, feeding rate, waste reduction,

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahma-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini berjudul **Penentuan *Optimal Feeding Rate* Larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) dalam Mereduksi Sampah Organik Pasar** yang merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Tingkat Sarjana pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih dan rasa hormat atas segala bantuan yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, yaitu kepada:

1. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., M.Phil., PhD selaku dosen pembimbing atas masukan, bimbingan, dan arahan yang telah diberikan selama penyusunan proposal hingga laporan Tugas Akhir ini selesai.
2. Prof. Yulinah Trihadiningrum dan Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc, dan ibu I.D.A.A Warmadewanthi, ST., MT., PhD selaku dosen penguji Tugas Akhir, atas saran dan masukan yang telah diberikan.
3. Ibu dan Bapak di rumah atas cinta, dukungan moril maupun materil yang telah diberikan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
4. Bapak Hadi Sutrisno, Mbak Mery dan Mbak lin selaku laboran Laboratorium Pemulihan Air dan Limbah Padat dan B3 Jurusan Teknik Lingkungan, atas bantuannya selama 3 bulan proses penelitian.
5. Teman-teman angkatan 2011 atas bantuan dan dukungannya selama persiapan, pelaksanaan penelitian, hingga penulisan Laporan Tugas Akhir ini selesai.

Penulis sangat menghargai saran dan kritik yang diberikan untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga Laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan lingkungan.

Surabaya, Juli 2015  
Penulis



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
 <b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	 <b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
 <b>BAB II . TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	 <b>5</b>
2.1 Gambaran Umum Sampah .....	5
2.1.1. Pengertian Sampah .....	5
2.1.2. Karakteristik Sampah .....	5
2.1.3. Penggolongan Sampah.....	10
2.1.4. Pengomposan Sampah Organik.....	12
2.2 Gambaran Umum <i>Hermetia illucens</i> atau <i>Black Soldier Fly</i> (BSF).....	16
2.2.1. Siklus Hidup BSF.....	18
2.2.2. Komposisi Tubuh BSF .....	21
2.2.3. Pemanfaatan BSF.....	23
2.3 Reduksi Sampah Organik dengan Larva <i>Black Soldier Fly</i> (BSF).....	23
2.3.1. Penelitian Terdahulu .....	26
2.3.2. Indeks Reduksi Sampah oleh Larva BSF .....	27
2.3.3. Laju Konsumsi Sampah.....	27
2.3.4. Laju Konsumsi Harian Sampah.....	28
2.3.5. Nilai Reduksi Materi Kering.....	28
2.3.6. Kandungan Biokimia Enzim Pencernaan Larva BSF .....	29

<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b>	31
3.1 Gambaran Umum Penelitian	31
3.2 Kerangka Penelitian	31
3.3 Tahap Penelitian	33
3.3.1. Ide Penelitian	33
3.3.2. Studi Literatur	34
3.3.3. Persiapan Penelitian	34
3.3.4. Penelitian Pendahuluan	37
3.3.5. Pelaksanaan Penelitian	37
3.3.6. Pengumpulan Data	48
3.3.7. Analisis Data dan Pembahasan	49
3.3.8. Kesimpulan dan Saran	49
<b>BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	51
4.1 Karakteristik Awal Sampel	51
4.1.1. Kadar Air Sampel	51
4.1.2. pH awal sampel	53
4.2 Hasil Penelitian	53
4.2.1. Pertumbuhan Larva Black Soldier Fly	53
4.2.1.1 Pertumbuhan larva pada sampel sayur : buah	54
4.2.1.2 Pertumbuhan larva pada sampel sayur : buah : jeroan ikan	56
4.2.1.3 Pertumbuhan larva pada sampel jeroan Ikan	57
4.2.2. Kadar Air Larva BSF	59
4.2.3. Pengukuran pH Sampel	60
4.2.4. Reduksi Sampah	63
4.2.5. Suhu dan Kelembaban Udara Lokasi Pelaksanaan	66
4.2.6. Suhu dan Kelembaban Udara Lokasi Pelaksanaan	67
4.2.7. Hasil Dekomposisi C/N Residu Sampah	68
4.2.7.1 Kadar C-organik dan N total organik awal Sampel	68
4.2.7.2 Hasil Dekomposisi Sampah oleh Larva BSF	69

<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>73</b>
5.1    Kesimpulan Penelitian.....	73
5.2    Saran.....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>75</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>81</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>99</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tipikal Kandungan Energi Sampah Organik,...	9
Tabel 2.2	Perbandingan pengomposan aerob dan Anaerob,.....	14
Tabel 2.3	Kandungan Asam Amino Tubuh Larva,.....	22
Tabel 2.4	Kandungan Mineral dan analisis proksimat pada tubuh Larva,.....	23
Tabel 2.5	Perbandingan Aktifitas Enzim Pencernaan Pada Kelenjar Ludah dan Mulut Larva BSF dan Lalat Rumah Menggunakan Metode API ZYM Enzyme Assay,.....	29
Tabel 3.1	Variabel Penelitian,.....	39
Tabel 4.1	Data Pengukuran Kadar Air Sampel Sampah,.....	51
Tabel 4.2	Data Pengukuran Kadar Air Awal Sampel,.....	52
Tabel 4.3	Data Pengukuran pH awal sampel,.....	53
Tabel 4.4	Data Pengukuran Persen Kadar Air Akhir Larva,.....	60
Tabel 4.5	Data Pengukuran Persen Reduksi Sampah,...	64
Tabel 4.6	Data Pengukuran Kadar C/N Awal Sampel,...	69
Tabel 4.7	Data Pengukuran Rasio C/N Residu,.....	70

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Skema Diagram Alir Kerangka Penelitian..	33
Gambar 3.2	(a) Reaktor pembiakan larva BSF; (b) Penyimpanan reaktor di dalam kotak Plastic.....	36
Gambar 4.1	Pertumbuhan Larva pada Sampel Sayur:Buah.....	55
Gambar 4.2	Jumlah Prepupa BSF pada Sampel Sayur:Buah.....	55
Gambar 4.3	Pertumbuhan Larva pada Sampel Sayur:Buah:Ikan.....	56
Gambar 4.4	Jumlah Prepupa BSF pada Sampel Sayur:Buah:Ikan.....	57
Gambar 4.5	Pertumbuhan Larva pada Sampel Ikan.....	58
Gambar 4.6	Jumlah Prepupa BSF pada Sampel Ikan.....	59
Gambar 4.7	pH sampel selama 21 hari.....	62
Gambar 4.8	pH sampel selama 21 hari.....	62
Gambar 4.9	pH sampel kontrol selama 21 hari.....	63
Gambar 4.10	Porsi Makanan Larva/hari.....	65
Gambar 4.11	Tingkat Kematian Larva.....	66
Gambar 4.12	Total Pemberian Makan Larva.....	67
Gambar 4.13	Suhu dan Kelembaban Lokasi Penelitian.....	68



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Andalan utama sebuah kota di Indonesia dalam menyelesaikan masalah sampahnya adalah pemusnahan dengan *landfilling* di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Berdasarkan laporan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi tahun 2010, presentase sampah organik mencapai 65,05 persen (BPPT RI, 2010). Kusrini *et al.*, (2009) menyebutkan dari total sampah organik kota sekitar 60% merupakan sampah sayur dan 40% merupakan gabungan sampah kebun, kulit buah-buahan, dan sisa makanan. Berdasarkan presentase di atas akan diperoleh timbunan sampah sisa makanan sangat tinggi apabila langsung dibuang menuju TPA. Langkah tersebut menimbulkan masalah lain yaitu tercemarnya air tanah oleh air lindi yang berasal dari *landfill* dan semakin berkurangnya ruang untuk menampung jumlah sampah yang semakin meningkat (Damanhuri, 2001). Oleh karena itu perlu dilakukan sebuah upaya pengolahan sampah yang bertujuan untuk mengurangi jumlah sampah yang menuju TPA dengan cara mengkonversinya menjadi bahan dan/atau energi lain yang bermanfaat.

Pengolahan sampah yang dapat diterapkan di Indonesia adalah sistem pengomposan, mengingat komposisi sampah yang terbesar di kota di Indonesia adalah sampah sisa-sisa makanan, khususnya sampah dapur. Pengomposan yang telah dilakukan adalah menggunakan bantuan mikroorganisme, cacing, dan juga menggunakan starter bahan kimia. Manfaat kompos selain memperbaiki kesuburan tanah juga dapat menurunkan kadar logam berat yang terdapat didalam tanah (Budianta *et al.*, 2003). Namun jika dilihat dari tujuan ekonominya, kegiatan pengomposan dinilai memiliki nilai ekonomis yang relatif kecil (Diener *et al.*, 2011). ). Hal ini disebabkan karena kecilnya keuntungan yang diperoleh dari pengelolaan sampah organik. Salah satu contoh nyata yaitu kegiatan pengomposan yang kalah

saing dengan pupuk kimia, yang mengakibatkan rendahnya harga jual kompos organik (Diener *et al.*, 2011).

Alternatif lain yang dapat dilakukan sebagai upaya pemanfaatan sampah organik yang juga memiliki nilai ekonomis tinggi adalah dengan memanfaatkan *Black Soldier Flies* (BSF) atau *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) (Popa dan Green, 2012). BSF merupakan spesies lalat daerah tropis yang dapat mengurai materi organik dan mampu berkembangbiak sebanyak tiga kali dalam setahun di negara bagian selatan Amerika Serikat. BSF betina dewasa bertelur satu kali seumur hidupnya dan menghasilkan antara 320-620 telur setelah masa kopulasi kurang dari 2 hari (Holmes *et al.*, 2012).

BSF berkembang dengan baik di daerah beriklim tropis dan hangat antara rentang regional 45° N dan 40° S. BSF dapat mendegradasi bahan organik seperti buah-buahan dan sayur busuk, pupuk kandang dan kotoran manusia yang dijadikan sebagai bahan makanannya (Nguyen *et al.*, 2011). Holmes (2010) menyatakan larva BSF dapat mendegradasi baik sampah padat maupun sampah cair. Selain itu larva BSF mudah untuk dikembangkan dengan sifatnya yang tidak berpengaruh terhadap musim, meskipun lebih aktif pada kondisi yang hangat. Larva BSF mampu mendegradasi sampah dengan 80 % jumlah sampah organik yang diberikan (Diener, 2010). Larva BSF mampu mengonsumsi sampah sisa makanan dalam jumlah besar lebih cepat dan lebih efisien dibandingkan spesies lain yang diketahui. Hal ini dipengaruhi oleh bagian mulutnya dan enzim pencernaannya yang lebih aktif (Kim *et al.*, 2010). Selain itu prepupa BSF, tahap sebelum menjadi pupa, mengandung 40 % protein dan 30 % lemak yang memungkinkan penggunaannya sebagai alternatif bahan pakan ternak (Diener, 2010).

Menurut Sipayung (2015) sampah sisa makanan memiliki potensi yang baik untuk dijadikan sumber perkembangbiakan BSF dengan tujuan mereduksi sampah organik. Sehingga, potensi reduksi sampah organik kegiatan pasar oleh larva BSF layak untuk dikembangkan. Dalam menentukan kemampuan mencerna

dan rasio pencampuran sampah yang optimal digunakan variasi *feeding rate* sampah (Diener *et al.*, 2011).

Penelitian ini akan dilakukan dengan metode pemanfaatan larva BSF untuk mendegradasi sampah organik *biodegradable* dari pasar. Adapun jenis sampah yang digunakan adalah sisa sampah sayur, buah, dan sampah ikan. Pemilihan jenis sampah tersebut adalah berdasarkan jenis sampah yang paling banyak terdapat di pasaran. Sebagai kontrol hasil akan digunakan sampah dengan perlakuan sama dengan sampel namun tanpa larva BSF. Hasil akhir penelitian ingin dicapai adalah mengetahui persen reduksi sampah sayur, buah, dan sampah ikan yang dapat dilakukan melalui pemanfaatan larva BSF ini. Persen reduksi sampah kemudian digunakan untuk menghitung peluang reduksi sampah pasar daerah perkotaan melalui pemanfaatan larva BSF.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kemampuan larva BSF dalam mereduksi sampah sayur, buah, dan sampah ikan?
2. Bagaimana pengaruh tingkat pertumbuhan larva BSF berdasarkan komposisi jenis sampah dan *feeding rate* yang dilakukan?
3. Bagaimana karakteristik hasil dekomposisi sampah organik *biodegradable* yang dilakukan oleh larva BSF?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan kemampuan larva BSF dalam mereduksi sampah organik *biodegradable* pasar .
2. Menentukan pengaruh tingkat pertumbuhan larva BSF berdasarkan komposisi jenis sampah dan *feeding rate* yang dilakukan.
3. Menentukan karakteristik hasil dekomposisi sampah organik *biodegradable* yang dilakukan oleh larva BSF.

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup bertujuan untuk membatasi masalah yang akan dibahas pada penelitian ini. Tugas akhir ini memiliki ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

1. Sampel sampah organik yang akan digunakan adalah kombinasi dari jenis sampah sayur, buah, dan sampah sisa ikan yang berasal dari pasar.
2. Penelitian ini dilaksanakan pada rentang waktu antara bulan Maret 2015 hingga Juni 2015.
3. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.
4. Penelitian pemanfaatan lalat *H.illucens* dilaksanakan di *Workshop Penelitian* Teknik Lingkungan; pelaksanaan analisis dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan; dan kantor SANDEC/EAWAG, Sidoarjo sebagai lokasi pembibitan BSF.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dengan adanya penelitian ini adalah diperolehnya informasi potensi reduksi sampah organik *biodegradable* oleh larva BSF, sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi timbulan sampah. Selain itu penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi masyarakat, sebagai upaya meningkatkan kesejahteraan finansial dengan memanfaatkan larva BSF sebagai alternatif bahan pakan ternak.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2. 1. Gambaran Umum Sampah**

##### **2. 1. 1. Pengertian Sampah**

Menurut WHO, sampah adalah sesuatu yang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang, berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya. Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat (UU No 18 tahun 2008). Menurut Tchobanoglous *et al* (1993) Sampah adalah bahan buangan padat maupun semi padat yang dihasilkan dari kegiatan manusia dan hewan yang dibuang karena tidak dibutuhkan atau tidak digunakan kembali.

##### **2. 1. 2. Karakteristik Sampah**

Karakteristik sampah meliputi karakteristik fisika, kimia. Karakteristik tergantung dari jenis sampah. Karakteristik sampah diperlukan untuk menentukan cara pengoprasian setiap peralatan dan fasilitas-fasilitas lainnya dan untuk memperkirakan kelayakan pemanfaatan kembali sumberdaya dan energi dalam sampah, serta untuk perencanaan fasilitas pembuangan akhir.

###### **a). Sifat Fisik Sampah**

Sifat fisik sampah diperlukan untuk menentukan metode pengangkutan dan pengolahan sampah yang tepat. Sifat fisik sampah meliputi massa jenis, kadar air, ukuran partikel, dan permeabilitas (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Sifat fisik tersebut berdasarkan pada komponen yang terkandung dalam sampah.

- **Massa Jenis Sampah**

Massa jenis atau densitas sampah adalah berat sampah per unit volume atau diekspresikan sebagai  $\text{lb/ft}^3$  atau  $\text{lb/yd}^3$  atau  $\text{kg/m}^3$  (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Densitas sampah digunakan untuk mengetahui timbunan sampah yang harus dikelola, dari densitas sampah kita dapat mengetahui fasilitas dan luas lahan yang diperlukan

untuk menangani sampah. Densitas sampah sangat dipengaruhi oleh lokasi geografis, musim, lamanya sampah di tempat pembuangan, dan faktor kompaksi pada saat penanganan sampah, sehingga tidak selalu sama densitas sampah. Tipikal massa jenis untuk sampah sayur dan buahan adalah  $359 \text{ kg/m}^3$ , dan sampah ikan  $359 \text{ kg/m}^3$  (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

- Kadar Air

Kadar air sampah biasanya digunakan untuk mengetahui berat kering sampah. Kadar sampah digambarkan sebagai berat kandungan air per berat basah dari sampah atau besarnya presentasi air dalam sampah. Kadar air sampah dapat ditentukan melalui persamaan (2.1).

$$\text{Kadar air (\%)} = \left( \frac{a-b}{a} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

Dimana :    a = berat awal (berat basah) sampah  
                   b = berat akhir sampah (berat kering)

Tipikal kandungan air pada sampah sayur adalah 75%, dan sampah buah sebesar 75% (Tchobanoglous *et al.*, 1993) . Kadar air sampah tergantung pada kondisi cuaca, curah hujan, dan kelembaban udara.

- Ukuran Partikel dan Distribusi

Ukuran partikel dan distribusi sampah penting untuk penanganan, terutama jika akan digunakan pemisahan dengan cara mekanis seperti dengan *magnetic separators* (Tchobanoglous *et al.*, 1993) . Ukuran partikel juga mempengaruhi massa jenis pengemasan sampah dan meningkatkan rasio luas permukaan dan volume sampah, melalui *shredding* sampah. Semakin kecil ukuran partikel sampah semakin tinggi produksi sampah yang dihasilkan karena semakin meningkatnya tingkat degradasi sampah oleh bakteri. Besar ukuran partikel dapat ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$Sc = l \quad (2.2)$$

$$Sc = \frac{l + w}{2} \quad (2.3)$$

$$Sc = \frac{l + w + h}{2} \quad (2.4)$$

$$Sc = (l \times w)^{1/2} \quad (2.5)$$

$$Sc = (l \times w \times h)^{1/3} \quad (2.6)$$

Dimana,

$Sc$	= size of component (mm)
$l$	= length (mm)
$w$	= width (mm)
$h$	= height (mm)

- *Field Capacity (FC)*

*Field capacity (FC)* atau kapasitas lahan merupakan total jumlah air yang dapat ditahan oleh permukaan sampah. FC diperlukan untuk menentukan potensi pembentukan lindi yang dapat meresap ke dalam tanah.

- Permeabilitas Sampah

Konduktivitas hidrolik merupakan sifat fisik yang penting dalam mengatur perpindahan cairan dan juga gas pada *landfill*. Koefisien permeabilitas ditulis dalam persamaan berikut:

$$K = Cd^2 \frac{\gamma}{\mu} = k \frac{\gamma}{\mu} \quad (2.7)$$

Dimana,

$K$	= koefisien permeabilitas
$C$	= faktor bentuk
$D$	= ukuran pori-pori
$\gamma$	= massa jenis air
$\mu$	= viskositas dinamis air
$k$	= intrinsic permeabilitas

b). Sifat Kimia Sampah

Sifat kimia sampah ini berguna dalam menentukan alternatif pilihan pendaur ulangan pada pengelolaan sampah. Jika sampah akan dibakar dapat diketahui energinya, sehingga dibutuhkan



analisis ultimate, analisis titik lebur abu, analisis proksimat, dan kandungan energi.

- Analisis Ultimate terhadap C (karbon), N (nitrogen), P (fosfor)

Data analisis C, N, dan P sampah digunakan sebagai karakteristik komposisi bahan organik yang terkandung di sampah. Menurut Sulistyawati *et al*, tahun 2008 kandungan C, N dan P digunakan tumbuhan sebagai unsur hara untuk pertumbuhannya. Oleh sebab itu kandungan C, N dan P sangat penting untuk penentuan metode pengomposan.

Dalam kondisi aerob mikroba akan memanfaatkan oksigen bebas untuk mendekomposisikan material organik dan mengasimilasi sebagian unsur karbon, nitrogen, fosfor, belerang, dan unsur lain yang diperlukan untuk sintesis protoplasma sel mikroba tersebut. Tumbuhan akan lebih mudah menyerap unsur P dari sampah yang sudah terdegradasi (Sulistyawati *et al.*, 2008). Kandungan P sebagai unsur makro primer pada kompos akan meningkatkan nilai dari kompos, sehingga pengukurannya perlu untuk dilakukan (Sutanto, 2002). Unsur P pada kompos penting untuk memacu pertumbuhan akar, pertumbuhan bunga dan munculnya akar, serta menambah daya tahan tumbuhan terhadap pengaruh hama (Lakitan, 1993).

Faktor paling penting penentu keberhasilan pengomposan adalah rasio C/N (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Berdasarkan British Columbia, *Ministry of Agriculture and food* (1998), rasio C/N bahan baku untuk kompos harus 30 bagian untuk karbon dan 1 bagian untuk nitrogen. C/N dalam rentang antara 25/1 sampai dengan 40/1 menghasilkan proses yang efisien. Sumber karbon untuk proses pengomposan diperoleh dari material organik. Menurut Diaz *et al.*, (1977) dalam Tchobanoglous *et al.*, (1993), sumber karbon bagi kompos adalah material kayu, daun-daun kering dan ranting, sedangkan sumber nitrogen bagi kompos adalah kotoran hewan, pupuk kimia, daun-daun hijau, sayuran hijau, dan sisa makanan. Ketika C/N terlalu rendah yang diakibatkan

banyaknya kandungan nitrogen dan memungkinkan nitrogen hilang ke atmosfer dalam bentuk gas  $\text{NH}_3$  sehingga menyebabkan bau.

- Analisis Titik Lebur Abu

Titik lebur abu adalah temperatur dimana dihasilkan abu (ash) dan pembakaran sampah, yang akan berbentuk padatan dengan peleburan atau dengan penggumpalan. Temperaturnya berkisar antara  $1100^{\circ}$  sampai  $1200^{\circ}\text{C}$ .

- Analisis Proksimat

Analisis proksimat ini bertujuan mengetahui bahan - bahan yang mudah terbakar dan tak mudah terbakar. Biasanya dilakukan tes untuk komponen yang mudah terbakar, tes ini dilakukan untuk mengetahui jumlah *volatil combustibel* dan *fixed carbon*. Adapun tes yang dilakukan berkaitan dengan:

1. Kadar air (kehilangan kadar air pada pemanasan  $105^{\circ}\text{C}$  dalam waktu 1 jam)
2. Bahan volatil (semakin kehilangan berat pada pembakaran *furnace*  $950^{\circ}\text{C}$ , dalam waktu 30 menit)
3. *Fixed carbon* (sisa material mudah terbakar hilang setelah bahan volatil menguap)
4. *Ash* (berat sisa yang tertinggal saat proses pembakaran *furnace* selesai).

- Analisis Kandungan Energi

Kandungan energi sampah penting untuk diukur jika akan dilakukan proses pembakaran sampah. Kandungan energi komponen limbah dapat ditentukan menggunakan boiler sistem, *bomb calorimeter*, atau dengan menghitung komposisi elemen. Pada tabel 2.1 dapat dilihat tipikal nilai kandungan energi dari sampah organik pemukiman.

Tabel 2.1 Tipikal Kandungan Energi Sampah Organik

Komponen	Kandungan Energi ( kJ/Kg )	
	Rentang	Tipikal
Sampah makanan	3.500-7.000	4.650
Kertas	11.600-18.610	16.760
Kulit	15.130-19.800	17.460
Sampah Kebun	2.330-18.620	6.520
Kayu	17.460-19.800	18.620

Sumber : Tchobanoglous *et al.*, 1993

### 2. 1. 3. Penggolongan Sampah

Di negara industri, jenis sampah atau yang dianggap sejenis sampah, dikelompokkan berdasarkan sumbernya seperti (Tchobanoglous *et al.*, 1993)]:

- Pemukiman: biasanya berupa rumah atau apartemen. Jenis sampah yang ditimbulkan antara lain sisa makanan, kertas, kardus, plastik, tekstil, kulit, sampah kebun, kayu, kaca, logam, barang bekas rumah tangga, limbah berbahaya dan sebagainya
- Daerah komersial: yang meliputi pertokoan, rumah makan, pasar, perkantoran, hotel, dan lain-lain. Jenis sampah yang ditimbulkan antara lain kertas, kardus, plastik, kayu, sisa makanan, kaca, logam, limbah berbahaya dan beracun, dan sebagainya
- Institusi: yaitu sekolah, rumah sakit, penjara, pusat pemerintahan, dan lain-lain. Jenis sampah yang ditimbulkan sama dengan jenis sampah pada daerah komersial
- Konstruksi dan pembongkaran bangunan: meliputi pembuatan konstruksi baru, perbaikan jalan, dan lain-lain. Jenis sampah yang ditimbulkan antara lain kayu, baja, beton, debu, dan lain-lain
- Fasilitas umum: seperti penyapuan jalan, taman, pantai, tempat rekreasi, dan lain-lain. Jenis sampah yang ditimbulkan antara lain *rubbish*, sampah taman, ranting, daun, dan sebagainya
- Pengolah limbah domestik seperti Instalasi pengolahan air minum, Instalasi pengolahan air buangan, dan insinerator. Jenis sampah yang ditimbulkan antara lain lumpur hasil pengolahan, debu, dan sebagainya
- Kawasan Industri: jenis sampah yang ditimbulkan antara lain sisa proses produksi, buangan non industri, dan sebagainya
- Pertanian: jenis sampah yang dihasilkan antara lain sisa makanan busuk, sisa pertanian.

Penggolongan tersebut di atas lebih lanjut dapat dikelompokkan berdasarkan cara penanganan dan pengolahannya, yaitu (Wilson, 1977):

- Komponen mudah membusuk (*putrescible*): sampah rumah tangga, sayur, buah-buahan, kotoran binatang, bangkai, dan lain-lain
- Komponen bervolume besar dan mudah terbakar (*bulky combustible*): kayu, kertas, kain plastik, karet, kulit dan lain-lain
- Komponen bervolume besar dan sulit terbakar (*bulky noncombustible*): logam, mineral, dan lain-lain
- Komponen bervolume kecil dan mudah terbakar (*small combustible*)
- Komponen bervolume kecil dan sulit terbakar (*small noncombustible*)
- Wadah bekas: botol, drum dan lain-lain
- Tabung bertekanan/gas
- Serbuk dan abu: organik (misal pestisida), logam metalik, non metalik, bahan amunisi dsb
- Lumpur, baik organik maupun non organik
- Puing bangunan
- Kendaraan tak terpakai
- Sampah radioaktif.

Pembagian yang lain sampah dari negara industri antara lain berupa (BPPT, 2002):

- Sampah organik mudah busuk (*garbage*): sampah sisa dapur, sisa makanan, sampah sisa sayur, dan kulit buah-buahan
- Sampah organik tak membusuk (*rubbish*): mudah terbakar (*combustible*) seperti kertas, karton, plastik, dsb dan tidak mudah terbakar (*non-combustible*) seperti logam, kaleng, gelas
- Sampah sisa abu pembakaran penghangat rumah (*ashes*)
- Sampah bangkai binatang (*dead animal*): bangkai tikus, ikan, anjing, dan binatang ternak

- Sampah sapuan jalan (*street sweeping*): sisa-sisa pembungkus dan sisa makanan, kertas, daun
- Sampah buangan sisa konstruksi (*demolition waste*), dsb

Sampah yang berasal dari pemukiman/tempat tinggal dan daerah komersial, selain terdiri atas sampah organik dan anorganik, juga dapat berkategori B3. Sampah organik bersifat *biodegradable* sehingga mudah terdekomposisi, sedangkan sampah anorganik bersifat *non-biodegradable* sehingga sulit terdekomposisi. Bagian organik sebagian besar terdiri atas sisa makanan, kertas, kardus, plastik, tekstil, karet, kulit, kayu, dan sampah kebun. Bagian anorganik sebagian besar terdiri dari kaca, tembikar, logam, dan debu. Sampah yang mudah terdekomposisi, terutama dalam cuaca yang panas, biasanya dalam proses dekomposisinya akan menimbulkan bau dan mendatangkan lalat.

Di Indonesia, penggolongan sampah yang sering digunakan adalah sebagai (a) sampah organik, atau sampah basah, yang terdiri atas daun-daunan, kayu, kertas, karton, tulang, sisa-sisa makanan ternak, sayur, buah, dan lain-lain, dan sebagai (b) sampah anorganik, atau sampah kering yang terdiri atas kaleng, plastik, besi dan logam-logam lainnya, gelas dan mika. Kadang kertas dimasukkan dalam kelompok ini.

#### **2. 1. 4. Pengomposan Sampah Organik**

Proses pengomposan (*composting*) adalah proses dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme terhadap bahan organik yang *biodegradable*, atau dikenal pula sebagai biomas. Pengomposan dapat dipercepat dengan mengatur faktor-faktor yang mempengaruhinya sehingga berada dalam kondisi yang optimum untuk proses pengomposan. Secara umum, tujuan pengomposan adalah:

- a. Mengubah bahan organik yang *biodegradable* menjadi bahan yang secara biologi bersifat stabil
- b. Bila prosesnya pembuatannya secara aerob, maka proses ini akan membunuh bakteri patogen, telur serangga, dan mikroorganisme lain yang tidak tahan pada temperatur di atas temperatur normal

- c. Menghasilkan produk yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat tanah.

Beberapa manfaat kompos dalam memperbaiki sifat tanah adalah:

- Memperkaya bahan makanan untuk tanaman
- Memperbesar daya ikat tanah berpasir
- Memperbaiki struktur tanah berlempung
- Mempertinggi kemampuan menyimpan air
- Memperbaiki drainase dan porositas tanah
- Menjaga suhu tanah agar stabil
- Mempertinggi daya ikat tanah terhadap zat hara
- Dapat meningkatkan pengaruh pupuk buatan

Kompos kurang tepat bila disebut sebagai pupuk, walaupun dikenal pula sebagai pupuk organik, karena zat hara yang dikandungnya akan tergantung pada karakteristik bahan baku yang digunakan. Oleh karena sampah kota karakteristiknya sangat heterogen dan fluktuatif maka kualitasnya akan mengikuti karakteristik sampah yang digunakan sebagai bahan kompos setiap saat. Klasifikasi pengomposan antara lain dapat dikelompokkan atas dasar:

- a. Ketersediaan oksigen:
  - Aerob bila dalam prosesnya menggunakan oksigen (udara)
  - Anaerob bila dalam prosesnya tidak memerlukan adanya oksigen
- b. Kondisi suhu:
  - Suhu mesofilik: berlangsung pada suhu normal, biasanya proses anaerob
  - Suhu termofilik: berlangsung di atas 40°C, terjadi pada kondisi aerob
- c. Teknologi yang digunakan:
  - Pengomposan tradisional (alamiah) misalnya dengan cara *windrow*
  - Pengomposan dipercepat (*high rate*) yang bersasaran mengkondisikan dengan rekayasa lingkungan proses yang mengoptimalkan kerja

mikroorganisme, seperti pengaturan pH, suplai udara, kelembaban, suhu, pencampuran, dsb.

Pengomposan aerobik lebih banyak dilakukan karena tidak menimbulkan bau, waktu pengomposan lebih cepat, temperatur proses pembuatannya tinggi sehingga dapat membunuh bakteri patogen dan telur cacing, sehingga kompos yang dihasilkan lebih higienis. Adapun perbedaan antara keduanya dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini. Proses pembuatan kompos adalah dekomposisi material organik limbah padat (sampah) secara biologis, di bawah kontrol kondisi proses yang berlangsung. Dalam produk akhir, materi organik belumlah dapat dikatakan stabil, namun dapat disebut stabil secara biologis.

Tabel 2.2 Perbandingan pengomposan aerob dan anaerob

No	Karakteristik	Aerob	Anaerob
1.	Reaksi pembentukannya	Eksotermis, butuh energy luar, dihasilkan panas	Endotermis, tidak butuh energy luar, dihasilkan gas-bio sumber energi
2.	Produk akhir	Humus, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Lumpur, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>
3.	Reduksi volume	Lebih dari 50%	Lebih dari 50%
4.	Waktu proses	(20-30) hari	(20-40) hari
5.	Tujuan utama	Reduksi volume	Produksi energy
6.	Tujuan sampingan	Produksi kompos	Stabilisasi buangan
7.	Estetika	Tidak menimbulkan bau	Menimbulkan bau

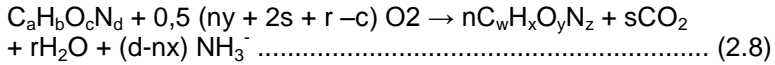
(Sumber : Tchobanoglous *et al.*, 1993 ; Damanhuri *et al.*, 1993)

Karena pertimbangan di atas, maka biasanya proses pengomposan dilakukan secara aerob. Secara umum, transformasi umum buangan aerob dapat dijelaskan sebagai berikut (Tchobanoglous *et al.*, 1993):

- Input: Materi organik + O<sub>2</sub> + nutrisi + bakteri
- Materi organik belum terdegradasi + biomass sel bakteri + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + NH<sub>3</sub><sup>-</sup> ..... + panas

Bila materi organik adalah C<sub>a</sub>H<sub>b</sub>O<sub>c</sub>N<sub>d</sub>, bila sel biomas bakteri diabaikan, dan bila materi organik belum terdegradasi adalah

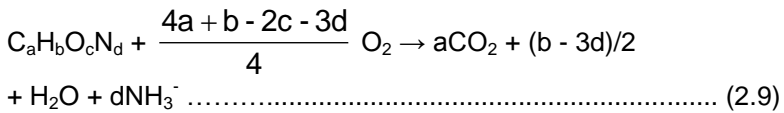
$C_wH_xO_yN_z$  , maka konsumsi reaksi yang terjadi adalah (Tchobanoglous *et al.*, 1993):



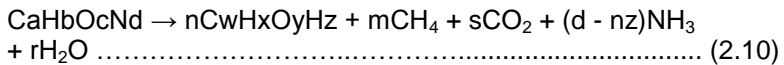
Dengan:  $r = 0,5 [b - nx - 3(d - nx)]$

$$s = a - nw$$

Bila terjadi reaksi sempurna, maka (Tchobanoglous *et al.*, 1993):



Bila proses berlangsung anaerob, misalnya dalam *landfilling* yang berlangsung secara alamiah, maka transformasinya adalah :



Dengan :  $s = a - nw - m$   
 $r = c - ny - 2s$

### Pengomposan Vermikomposting

Vermikompos adalah kompos yang diperoleh dari hasil perombakan bahan-bahan organik yang dilakukan oleh cacing tanah. Vermikompos merupakan campuran kotoran cacing tanah (casting) dengan sisa media atau pakan dalam budidaya cacing tanah. Oleh karena itu, vermikompos merupakan pupuk organik yang ramah lingkungan dan memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan dengan kompos lain yang kita kenal selama ini (Mashur, 2001). Pengomposan dengan metode vermicomposting lebih cepat 2 kali lipat dibanding pengomposan secara konvensional. Hal ini dikarenakan penguraian materi organik oleh cacing tanah lebih cepat berlangsung dengan adanya enzim selulase yang membantu penguraian selulosa pada sampah (Sumardiono *et al.*, 2011).

Peranan cacing tanah sangat penting dalam proses dekomposisi bahan organik tanah. Bersama-sama mikroba



tanah lainnya terutama bakteri, cacing tanah ikut berperan dalam siklus biogeokimia. Cacing tanah memakan serasah daun dan materi tumbuhan yang mati lainnya, dengan demikian materi tersebut terurai dan hancur. Cacing tanah juga berperan dalam menurunkan rasio C/N bahan organik, dan mengubah nitrogen tidak tersedia menjadi nitrogen tersedia setelah dikeluarkan berupa kotoran (kascing). Terdapat interaksi antara pemberian bahan organik dan cacing tanah terhadap status hara tanah terutama N dan K, dan pemberian inokulan cacing tanah juga berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan P tersedia pada tanah Ultisols. Selain itu cacing tanah meningkatkan dengan nyata kelimpahan total bakteri dan *Rhizopus* pada tanah steril (Anwar, 2009).

Keberadaan cacing pada proses vermikomposting dapat menjaga kondisi aerobik pada campuran sampah, padatan yang terserna, dan mengubah material organik menjadi biomassa dan produk respirasi. Cacing tanah mengeluarkan residu yang dapat menstabilkan material menjadi material diskrit yang disebut vermicasting. Pemanfaatan cacing tanah untuk mendekomposisi sampah organik biodegradable berlangsung dengan baik pada kondisi sampah yang sudah ditumbuhi jamur (Soma, 2010) yang dapat mengakibatkan kematian pada cacing tanah. Selain itu dekomposisi materi organik biodegradable oleh cacing tanah memerlukan pH mendekati netral. Melalui penelitiannya, Soma (2010) menemukan proses degradasi oleh cacing tanah berlangsung lebih lambat pada kondisi asam.

## **2.2. Gambaran Umum *Hermetia illucens* atau *Black Soldier Fly* (BSF)**

*Black Soldier Fly* (BSF) merupakan spesies lalat yang berasal dari benua Amerika yang dapat hidup dengan baik pada iklim tropis (Zhang, 2010). *Black Soldier Fly* (BSF) memiliki nama latin *Hermetia illucens* berasal dari ordo Diptera, family Stratiomyidae dengan genus *Hermetia* (Hem, 2011). BSF dapat ditemui hampir di seluruh dunia, menurut Diener tahun 2010 penyebaran BSF antara 45° Lintang utara dan 40° Lintang Selatan. Suhu optimum BSF dapat bertumbuh adalah 45° C. BSF

dapat bertahan hidup dengan suhu minimum 0° C dalam waktu 4 jam, dan suhu maksimum BSF dapat bertahan hidup adalah 45° C. Larva menjadi tidak aktif pada temperatur dibawah 10° C dan dan suhu diatas 45° C. Temperatur optimum untuk larva berkembang menjadi pupa adalah berkisar antara 25° C - 30° C. Temperatur untuk BSF dapat kawin adalah sekitar 28° C (Zhang, 2010).

BSF dewasa hidup dan meletakkan telurnya di celah-celah dekat habitat larva. Lalat BSF tidak dikenali sebagai hama karena lalat BSF tidak tertarik pada habitat manusia atau makanan (Furman *et al.*, 1959). Lalat BSF tidak memerlukan makanan, lalat bertahan hidup pada cadangan lemak tubuh yang diserap pada tahap larva. Larva BSF memakan segala bahan organik yang membusuk termasuk sampah dapur, sampah makanan, dan kotoran (Newton *et al.*, 2005).

BSF merupakan serangga yang tidak berbahaya yang memiliki potensi menjanjikan untuk masalah pakan ternak dan juga dapat dimanfaatkan sebagai solusi atas limbah organik. Secara singkat keuntungan yang dapat diperoleh dari pemanfaatan larva BSF (Popa dan Green, 2012) adalah:

- Mendegradasi sampah organik lebih dari 50% dan dijadikan sumber nutrisi untuk pertumbuhannya
- Mengkonversi sampah organik menjadi kompos dengan kandungan penyubur yang tinggi
- Mengontrol bau dan hama, serta dapat mengurangi emisi gas rumah kaca pada saat proses dekomposisi sampah
- Tubuhnya mengandung zat kitin dan protein yang cukup tinggi yang dapat digunakan sebagai pakan ternak
- Kandungan lemak yang tinggi pada tubuh larva BSF dapat dimanfaatkan sebagai bahan *biofuel*.

Larva black soldier memiliki beberapa karakter diantaranya (Fahmi *et al.*, 2007):

- ✓ Bersifat dewatering (menyerap air), dan berpotensi mengelola sampah organik

- ✓ Dapat membuat liang untuk aerasi sampah
- ✓ Toleran terhadap pH dan suhu
- ✓ Melakukan migrasi mendekati fase pupa
- ✓ Higenis sebagai control lalat rumah
- ✓ Kandungan protein mencapai 45%

### **2. 2. 1. Siklus Hidup BSF**

Siklus hidup BSF sama dengan serangga Diptera lainnya, yaitu mulai dari telur menetas menjadi larva yang mengalami proses metamorfose menjadi pupa dan serangga dewasa (Fahmi *et al.*, 2007). Siklus metamorfosis BSF berlangsung dalam rentang kurang lebih 40 hari, tergantung pada suhu dan kelembaban tempat hidup BSF, dan asupan nutrisi yang dimakan (Alvarez, 2012).

#### **a. Fase Telur**

Lalat betina BSF mengeluarkan hingga 500 butir telur pada masa satu kali bertelur. Telur berbentuk oval dengan panjang kurang dari 1 mm. sebutir telur BSF memiliki bobot rata-rata 0,003 mg (Booth dan Sheppard, 1984). Telur berwarna putih pucat dan berubah secara berangsur-angsur menguning sampai waktu tetas tiba. Lalat BSF meletakkan telurnya di tempat gelap, berupa lubang/celah yang berada di atas atau disekitar material yang sudah membusuk seperti kotoran, sampah, ataupun sayur busuk.

Telur BSF akan menetas dalam waktu 3 hari pada suhu 24<sup>0</sup> C (Rachmawati, 2010), adapun suhu optimum pemeliharaan telur BSF adalah antara 28-35°C. Pada suhu kurang dari 24°C telur akan menetas dalam 102 sampai 105 jam (4,3 hari) (Booth dan Sheppard, 1984). Di argentina, telur menetas 4 sampai 6 hari. Diselendia baru telur menetas 5 hari di bulan Februari dan 7 sampai 14 hari dibulan April (Sheppard *et al.*, 2002). Perbedaan waktu perkembangan tersebut disebabkan faktor suhu dan kelembabab udara, karena suhu lingkungan dan kelembaban berkolerasi negative dengan waktu inkubasi telur dan perkembangan

embrio (Chapman, 1998). Kelembaban udara optimum untuk perkembangan telur BSF sekitar 30%-40%. Jika kelembaban kurang dari 30%, telur akan mengering dan embrio di dalamnya akan mati. Kondisi ini akan memicu pertumbuhan jamur jenis Ascomycetes yang dapat mempercepat kematian telur lainnya sebelum menetas menjadi larva. Telur BSF juga tidak dapat bertahan di tempat yang miskin oksigen ataupun tempat yang tinggi tingkat gas karbondioksida.

#### b. Fase Larva

Larva berbentuk oval, pipih, dengan panjang 12-17 mm, memiliki sebelas segmen tubuh dengan sejumlah rambut melintang (Chu dan Cutkomp, 1992). Larva yang baru menetas dari telur berukuran sangat kecil, sekitar 0.07 inci (1.8 mm) dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Larva BSF bersifat photofobia, hal ini terlihat jelas ketika larva sedang makan, dimana mereka lebih aktif dan lebih banyak berada di bagian yang miskin cahaya. Pada umur satu minggu, larva BSF memiliki toleransi yang jauh lebih baik terhadap suhu yang lebih rendah. Ketika cadangan makanan yang tersedia cukup banyak, larva muda dapat hidup pada suhu kurang dari 20°C dan lebih tinggi daripada 45°C. Namun larva BSF lebih cepat tumbuh pada suhu 30-36°C.

Larva akan menghabiskan waktunya untuk makan dan menggemukkan badan. Larva BSF akan memakan semua material organik yang membusuk. BSF memenuhi semua nutrisinya pada tahap larva, karena pada tahap pupa dan lalat dewasa BSF tidak lagi makan. Larva BSF sangat rentan terhadap suhu, tekanan oksigen yang rendah, jamur, kandungan air, dan bahan beracun, ketahanan larva BSF akan meningkat setelah berumur sekitar 1 minggu (berukuran sekitar 5-10 mg). Setelah berumur 10 hari, larva-larva ini akan mampu bersaing dengan larva lainnya yang lebih tua di dalam inkubator pengembangbiakan.

Larva BSF akan mencapai masa prepupa pada umur 14 hari. Selama masa pertumbuhannya larva BSF mengalami 6

(enam) fase pergantian kulit (instar) dengan perubahan warna dari putih krem sampai dengan berwarna cokelat kehitaman pada instar terakhir (Popa dan green, 2012). Pertumbuhan larva BSF dipengaruhi oleh suhu, kualitas makanan, kelembaban udara, dan adanya zat kimia yang tidak cocok bagi larva. Larva BSF dapat mencapai ukuran panjang 27 mm dan lebar 6 mm.

#### c. Fase Pupa

Setelah mencapai ukuran maksimal, larva akan menyimpan makanan dalam tubuhnya sebagai cadangan untuk persiapan proses metamorfosa menjadi pupa. . Setelah larva BSF berganti kulit hingga instar yang keenam, larva BSF akan memiliki kulit yang lebih keras daripada kulit sebelumnya, yang disebut sebagai puparium dimana larva mulai memasuki fase prepupa. Mendekati fase pupa, prepupa akan bergerak menuju tempat yang agak kering. Pupa berukuran kira-kira dua pertiga dari prepupa dan merupakan tahap dimana BSF dalam keadaan pasif dan diam, serta memiliki tekstur kasar berwarna cokelat kehitaman. Bagian mulut prepupa BSF yang disebut labrum akan membengkok ke bawah seperti paruh elang, yang kemudian berfungsi sebagai kait bagi kepompong. Proses metamorfosis pupa menjadi BSF dewasa berlangsung dalam kurun waktu antara sepuluh hari sampai dengan beberapa bulan tergantung kondisi suhu lingkungan. Pada tahap prepupa dan pupa, BSF tidak lagi makan (Diener, 2010).

#### d. Lalat Dewasa

Lalat BSF dewasa atau imago adalah fase terakhir dalam siklus hidup BSF. Imago memiliki ukuran tubuh berkisar antara 15-20 mm, dan memiliki variasi tampak dalam warna kuning, hijau, hitam atau biru, dengan warna metallic (Sheppard *et al.*, 2002). Imago BSF memiliki kepala, toraks, dan abdomen berwarna hitam. Panjang tubuhnya 15-20 mm, antena 2 kali lebih panjang dari panjang kepala, memiliki mata majemuk saling terpisah jauh, alat mulut menghisap

dan menjilat. Femur dan tibia berwarna hitam dengan tarsus berwarna putih agak pucat (James 1981). Imago betina yang keluar dari pupa belum memiliki telur yang matang. Kopulasi terjadi setelah hari kedua BSF keluar dari pupa. Proses kopulasi tergantung pada ukuran kandang dan intensitas cahaya matahari (Rachmawati 2010). Antara BSF betina dan BSF jantan memiliki tampilan yang tidak jauh berbeda, dengan ukuran tubuh BSF betina yang lebih besar dan ukuran ruas kedua pada perutnya yang lebih kecil dibanding pada BSF jantan. Pada tahap imago, BSF tidak lagi banyak makan seperti saat larva. Seluruh hidupnya akan dikosentrasikan untuk kawin dan menghasilkan telur. Lalat dewasa ini hanya akan meletakkan telurnya pada media yang memiliki aroma tertentu.

Imago BSF mulai dapat kawin setelah berumur 2 hari. Setelah terjadi perkawinan, imago BSF betina akan menghasilkan sebanyak 300-500 butir telur dan meletakkannya di lokasi yang lembab dan gelap, seperti pada kayu lapuk. Imago meletakkan telurnya pada media yang memungkinkan telur dapat tumbuh dan berkembang. Imago hanya bertelur sekali dalam hidupnya, karena ovarium tidak lagi berkembang pasca oviposisi. Dengan demikian BSF diduga termasuk serangga sinovigenik. Hal tersebut menjadi penyebab singkatnya lama hidup imago BSF (Rachmawati *et al.*, 2010). Suhu optimum bagi imago BSF untuk bertelur secara alami di alam adalah sekitar 27.5-37.5°C (Sheppard *et al.*, 1994). Hasil penelitian terdahulu menunjukkan imago BSF yang diberi air dapat hidup lebih lama daripada yang tidak diberi air sama sekali (Tomberlin *et al.*, 2002), kelembaban udara optimum yang baik untuk imago BSF betina dapat bertelur adalah antara 30-90%. Hal ini dikarenakan BSF bersifat sangat mudah dehidrasi, sehingga dibutuhkan kelembaban udara yang cukup.

### **2. 2. 2. Komposisi Tubuh BSF**

Selama perkembangan BSF akan mengalami peningkatan biomassa dan volume, sehingga mengubah komposisi

kandungan nutrisi. Kadar air pada tubuh larva BSF menurun seiring pertumbuhannya dan paling rendah pada fase pupa. Kulit kering dari BSF dan larva mati yang diperoleh kemudian dapat dimanfaatkan sebagai campuran bahan pakan ternak.

Larva BSF kaya akan protein dan lemak yang bernilai ekonomi untuk pembuatan pakan ternak. Selain itu lemak dari larva BSF juga dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel. Diperkirakan bahwa biodiesel dari larva BSF yang digunakan untuk mendegradasi kotoran hewan memiliki nilai energi yang sebanding dengan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang dihasilkan kotoran hewan yang didegradasinya. Newton *et al* (2005) pernah melakukan uji kandungan nutrisi Larva BSF, setelah melakukan percobaan selama 14 hari dalam mereduksi kotoran hewan, nutrisi pada tubuh BSF dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan 2.4

Tabel 2.3 Kandungan Asam Amino Tubuh Larva BSF

Essential Amino Acids		Additional Amino Acids	
Methionine	0,9	Tyrosine	2,5
Lysine	3,4	Aspartic acid	4,6
Leucine	3,5	Serine	0,1
Isoleucine	2,0	Glutamic acid	3,8
Histidine	1,9	Glycine	2,9
Phenylalanine	2,2	Alanine	3,7
Valine	3,4	Proline	3,3
1-Arginine	2,2	Cystine	0,1
Threonine	0,6	Ammonia	1,3
Tryptophan	0,2		

(Sumber : Newton *et al.*, 2005)

Tabel 2.4 Kandungan Mineral dan analisis proksimat pada tubuh Larva BSF

Mineral		Proximate Analysis	
P	1,51 %	Crude protein	42,1 %
K	0,69 %	Ether extract	34,8
Ca	5,00 %	Crude fiber	7
Mg	0,39 %	Ash	14,6
Mn	246 ppm		
Fe	1370 ppm		
B	0 ppm		

Tabel 2.1 Lanjutan

Mineral		Proximate Analysis	
Zn	108ppm		
Sr	53 ppm		
Na	1325 ppm		
Cu	6 ppm		
Al	97 ppm		
Ba	33 ppm		

(Sumber : Newton *et al.*, 2005)

### 2. 2. 3. Pemanfaatan BSF

Beberapa pemanfaatan yang telah dilakukan terhadap larva BSF yang telah dilakukan saat ini (Popa dan Green, 2012) adalah sebagai berikut:

- Pengelolaan kotoran hewan
- Daur ulang sisa makanan
- Daur ulang limbah cair domestik dan tinja
- *Composting*
- Alternatif bahan pakan ternak untuk peternakan
- Bahan pembuatan biodiesel

### 2. 3. Reduksi Sampah Organik dengan Larva *Black Soldier Fly* (BSF)

Pemanfatan larva BSF dalam mereduksi sampah organik merupakan teknologi daur ulang yang sangat menguntungkan (bernilai ekonomis tinggi). BSF dianggap menguntungkan, karena larva BSF memanfaatkan sampah organik baik dari hewan, tumbuhan, maupun dari kotoran hewan dan kotoran manusia sebagai makanannya dan meningkatkan nilai *recycle* dari sampah organik (Kim *et al.*, 2011) dan mengkonversinya menjadi protein yang dapat digunakan sebagai pakan ternak. Beberapa penelitian juga menunjukkan larva BSF mampu mendegradasi sampah organik, baik dari hewan maupun tumbuhan lebih baik dibanding serangga lainnya yang pernah diteliti (Kim *et al.*, 2011). Larva BSF juga diketahui memiliki rentang jenis makanan yang sangat variatif. Larva BSF dapat memakan kotoran hewan, daging segar maupun yang sudah membusuk, buah, sampah restoran, sampah dapur selulosa, dan berbagai jenis sampah



organik lainnya (Alvarez, 2012). Selain itu, keberadaan larva BSF dinilai cukup aman bagi kesehatan manusia. Disamping dapat mengurangi populasi lalat rumah, juga dapat mereduksi kontaminasi limbah terhadap bakteri patogenik *Escherichia coli* (Newton *et al.* 1995), dan lalat BSF tidak tergolong hama karena tidak mengganggu aktivitas manusia dan binatang.

Pengelolaan sampah menggunakan larva BSF dinilai lebih praktis, karena tidak perlunya memisahkan antara sampah hewani maupun sampah nabati (Žáková dan Borkovcová, 2013). Larva BSF akan memakan segala jenis sampah organik baik dari hewan maupun dari tumbuhan (Bullock *et al.*, 2013). Salah satu percobaan pada skala laboratorium yang telah dilaksanakan menunjukkan BSF memiliki potensi pengelolaan sampah organik yang cukup tinggi, khususnya sampah sisa makanan yang mencapai persen reduksi 46.04 % (Žáková dan Borkovcová, 2013). Pada percobaan yang dilakukan Diener *et al.* (2011) menunjukkan persen reduksi sampah yang menakjubkan yaitu 68% berat kering, tergantung pada banyaknya sampah yang ditambahkan dan tersedia atau tidaknya sistem drainase.

Memasuki tahap larva BSF akan mulai memakan sampah organik yang diberikan, sampai pada tingkat reduksi hampir 55% berdasarkan berat kering sampah (Diener, 2010). Larva BSF tidak memiliki jam istirahat, namun mereka juga tidak makan sepanjang waktu (Alvarez, 2012). Kadar air optimum pada makanan larva BSF adalah antara 60-90% (Alvarez, 2012). Ketika kadar air sampah yang diberikan terlalu tinggi akan menyebabkan larva keluar dari reaktor pembiakan, mencari tempat yang lebih kering. Namun, ketika kadar airnya juga kurang akan mengakibatkan konsumsi makanan yang kurang efisien pula (Alvarez, 2012). Sementara suhu makanan yang diberikan optimum pada angka 27-33°C (Alvarez, 2012), namun demikian pada suhu yang lebih rendah larva BSF tetap dapat bertahan karena adanya asupan panas dari sampah yang dimakannya (Alvarez, 2012). Ketika larva mencapai tahap dewasa, larva BSF akan mampu mengurai sampah organik dengan sangat cepat dan menekan pertumbuhan bakteri serta mengurangi bau tidak sedap yang ada pada sampah dengan sangat baik (Diener, 2010).

Selain itu, keuntungan tambahan yang diperoleh dari BSF adalah kemampuannya untuk mengusir lalat rumah yang merupakan vektor penyakit menular yang banyak di negara berkembang (Diener, 2010).

Dalam pemanfaatan larva BSF dalam reduksi sampah melalui pengembangbiakan BSF harus memperhatikan faktor-faktor di bawah ini:

- Pola makan larva BSF  
Larva BSF umumnya memiliki ciri makan searah horizontal dengan makanannya. Namun terkadang larva BSF akan bergerak secara vertikal untuk mengekstrak nutrient yang terdapat pada lindi yang dihasilkan dari pembusukan sampah makanan yang diberikan.
- Ketersediaan oksigen yang cukup pada tempat pembiakan  
Larva BSF membutuhkan oksigen untuk bernapas dan sangat tidak menyukai kondisi dengan kadar karbondioksida yang tinggi. Pada saat kadar karbondioksida pada reaktor pembiakan tinggi, maka larva BSF akan berusaha keluar dan mencari sumber oksigen. Hal ini sering menyebabkan keluarnya larva BSF meskipun belum mulai berubah menjadi prepupa.
- Kadar air sampah (makanan larva)  
Kadar air sampah mempengaruhi waktu konsumsi larva terhadap sampah yang diberikan. Larva BSF akan optimum mengkonsumsi sampah yang diberikan pada rentang 60-90%. Semakin tinggi kadar air dalam sampah yang diberikan membuat larva BSF cenderung untuk keluar dari reaktor pembiakan, mencari tempat yang lebih kering. Namun kurangnya kadar air juga tidak baik karena menghambat proses pencernaan yang dilakukan oleh larva BSF.
- Ketersediaan cahaya  
Larva BSF merupakan hewan fotofobia. Pada fase larva mereka cenderung menjauhi sumber cahaya. Pada tahap prepupa mereka akan keluar secara alami dari reaktor pembiakan, dan mencari tempat kering dan berlindung yang gelap sebelum berubah menjadi kepompong.

Pada kondisi ideal dan tersedianya pasokan makanan (sampah organik), larva BSF dapat matang dalam waktu 2 minggu. Namun pada kondisi kurang pasokan makanan dan terlalu rendahnya temperatur dapat memperpanjang waktu pematangan larva, yang bisa mencapai waktu 4 (empat) bulan (Diener, 2010). Tiga faktor yang mempengaruhi pertumbuhan larva BSF dan kapasitas reduksi sampahnya (Diener *et al.*, 2011) adalah :

- Tingginya tingkat kematian larva akibat naiknya konsentrasi Zn pada sampah yang diberikan serta kondisi anaerobik di dalam reaktor.
- Sedikitnya jumlah telur BSF yang subur akibat keracunan yang ditimbulkan konsentrasi Zn yang tinggi pada reaktor.
- Terbatasnya akses untuk mencapai makanan akibat penyumbatan oleh cairan lindi pada reaktor percobaan.

### **2. 3. 1. Penelitian Terdahulu**

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan larva BSF sebagai salah satu cara reduksi timbulan sampah organik telah banyak dilakukan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Newton *et al.* (2005), dengan menggunakan kotoran sebanyak 56 kg, BSF dapat mereduksi kotoran tersebut sebesar 56% selama 14 hari. Penelitian yang dilakukan Diener *et al.* (2011), diperoleh persentase reduksi sampah organik pasar mencapai 68%, dengan *feeding rate* 167 mg/larva.hari. Selain itu penelitian yang dilakukan Sipayung (2015) menunjukkan BSF dapat mereduksi sampah makanan dan pisang dengan persentase reduksi yang tinggi.

Larva BSF dapat memakan segala jenis materi organik, larva BSF tidak memiliki jam istirahat namun tidak juga makan sepanjang waktu. Menurut penelitian Diener (2009) pertumbuhan larva sangat dipengaruhi dari kandungan nutrisi makanan yang diberikan dan *feeding rate* yang dilakukan. Dalam percobaan tersebut, diberikan makan pada larva dengan variasi *feeding rate* 12,5 ; 25 ; 50 ; 100 ; 200 mg/larva.hari. Hasilnya menunjukkan bahwa pemberian makanan dengan porsi 100 mg/larva.hari memiliki tingkat reduksi sampah yang paling tinggi. Kemampuan

memakan larva naik dari *feeding rate* 12,5 hingga 100 mg/larva.hari, namun menurun pada *feeding rate* 200 mg/larva/hari. Hal tersebut disebabkan terlalu banyaknya residu sampah yang tersisa sehingga menghambat akses larva dalam memakan makanan, dan juga menciptakan kondisi yang anaerobik yang dapat mengganggu pertumbuhan larva.

### 2. 3. 2. Indeks Reduksi Sampah oleh Larva BSF

Presentasi tingkat reduksi sampah oleh larva BSF dipengaruhi oleh 2 (dua) faktor, yaitu tingkat degradasi sampah dan waktu yang diperlukan untuk mendegradasi sampah. Tingkat degradasi ditentukan oleh jumlah sampah sebelum terdegradasi dan jumlah sisa yang tidak terdegradasi, yang dapat dilihat di persamaan (2.3). Diener (2010) mendefinisikan tingkat reduksi sampah oleh larva BSF sebagai *waste reduction index* (WRI) dengan persamaan (2.11).

$$WRI = \frac{D}{t} \times 100 \quad (2.11)$$

$$D = \frac{W - R}{W} \quad (2.12)$$

Dimana : WRI = Indeks reduksi sampah

D = tingkat degradasi sampah

T = waktu yang diperlukan untuk mendegradasi sampah

W = jumlah sampah sebelum terdegradasi

R = jumlah residu

### 2. 3. 3. Laju Konsumsi Sampah

Laju konsumsi sampah atau *waste reduction rate* (WCR) merupakan salah satu parameter rancang yang penting untuk perencanaan fasilitas ke depannya. Laju konsumsi sampah dapat diperoleh dari perbandingan nilai estimasi jumlah belatung (larva) dengan jumlah makanan yang ditambahkan di dalam reaktor dan waktu konsumsi yang diperlukan. Sehingga persamaan ini dapat diformulasikan sebagai persamaan (2.13).

$$WCR = \frac{\text{banyak sampah}}{\text{jumlah larva} \times \text{waktukonsumsi}} \dots\dots\dots (2.13)$$

#### 2. 3. 4. Laju Konsumsi Harian Sampah

Menggunakan nilai berat kering dari sampel sampah, laju konsumsi harian sampah (DCR) dari larva BSF dapat ditentukan melalui persamaan (2.14).

$$DCR = \frac{\text{jumlah sampah yang ditambahkan}}{\text{rentang hari penambahan}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan persamaan laju konsumsi sampah harian per larva (DCRM) yang dihitung melalui persamaan (2.15).

$$DCRM = \frac{DCR}{\text{jumlah larva}} \dots\dots\dots (2.15)$$

#### 2. 3. 5. Nilai Reduksi Materi Kering

Menggunakan berat total makanan yang ditambahkan selama fase larva dan berat residu sampah yang tersisa pada akhir siklus, nilai reduksi materi kering (DMR) dihitung dalam persen dengan persamaan (2.16).

$$DM = \frac{\text{Berat Kering Total} - \text{Berat Kering yang Tersisa}}{\text{Berat Kering Total}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Nilai %DMR kemudian digunakan untuk menghitung nilai koreksi DCRM untuk menghitung residu di dalam reaktor setelah siklus fase larva selesai melalui persamaan (2.17).

$$cDCRM = \frac{DCRM \times \% DMR}{100} \dots\dots\dots(2.17)$$

Nilai koreksi DCRM dari tiap pemberian makanan kemudian dicari rata-ratanya untuk menentukan DCRM untuk satu siklus makan per basis larva.

### 2. 3. 6. Kandungan Biokimia Enzim Pencernaan Larva BSF

Larva BSF tergolong sebagai polyphagus. Larva BSF dapat mengkonsumsi material organik dalam jumlah yang banyak dan tergolong sangat cepat dan efisien jika dibandingkan spesies lalat jenis lainnya. Kemampuan mengkonsumsi material organik tersebut didukung mulut yang kuat dan enzim pencernaan yang dimiliki larva BSF (Sheppard *et al.*, 2002). Analisis kualitas dan kuantitas yang telah dilakukan menunjukkan larva BSF memiliki enzim pencernaan yang lebih variatif dibanding pada lalat rumah. Lebih banyaknya kandungan enzim pencernaan ini membuat larva BSF mampu mencerna sampah makanan dan sampah organik lainnya dengan sangat baik. Diketahui bahwa tingkat aktifitas dari enzim leusin arilamidase,  $\alpha$ -galaktosidase,  $\beta$ -galaktosidase,  $\alpha$ -mannosidase,  $\alpha$ -fukosidase yang terdapat pada larva BSF lebih tinggi dibanding pada larva lalat rumah. Perbandingan aktifitas enzim pencernaan pada larva BSF dan larva lalat rumah dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Perbandingan Aktifitas Enzim Pencernaan Pada Kelenjar Ludah dan Mulut Larva BSF dan Lalat Rumah Menggunakan Metode API ZYM Enzyme Assay

Enzim	<i>H. illucens</i>		<i>Musca domestica</i>	
	Kelenjar Ludah	Mulut	Kelenjar Ludah	Mulut
Kontrol	0	0	0	0
Alkaline fosfatase	1	5	1	5
Esterase	3	3	3	3
Esterase lipase	3	5	3	5
Lipase	1	5	0	5
Leusin arilamidase	5	5	2	5
Valin arilamidase	0	5	0	5
Kristin arilamidase	0	5	0	5
Tripsin	0	4	1	4
$\alpha$ -kimotripsin	0	1	0	1
Asam fosfatase	4	5	3	5
Asam fosfatase	4	5	3	5
Neftol-AS-BI-fosfohidrolase	2	5	2	5
$\alpha$ -galaktosidase	0	4	0	1

Tabel 2.5 Lanjutan

Enzim	<i>H. illucens</i>		<i>Musca domestica</i>	
	Kelenjar Ludah	Mulut	Kelenjar Ludah	Mulut
$\beta$ -galaktosidase	3	5	0	5
$\beta$ -glukuronidase	0	1	0	1
$\alpha$ -glukosidase	3	5	2	5
$\beta$ -glukosidase	0	1	1	1
N-asetil- $\beta$ -glukoaminidase	2	5	2	5
$\alpha$ -mannosidase	0	4	0	1
$\alpha$ -fukosidase	3	3	0	1

Sumber : Kim *et al.*, 2011

## **BAB 3 METODE PENELITIAN**

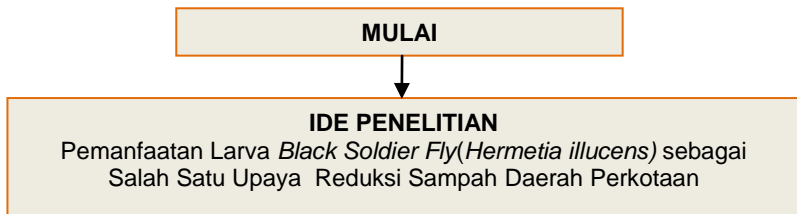
### **3.1 Gambaran Umum Penelitian**

Penelitian akan dilaksanakan dengan metode percobaan skala laboratorium yang akan dilaksanakan di *Workshop* Penelitian dan di Laboratorium Pengolahan Limbah Padat dan B3 Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. Penelitian direncanakan dilaksanakan dalam kurun waktu 2 bulan (60 hari) dengan waktu *running* penelitian selama 21 hari dengan dua kali pengulangan. Hasil akhir yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui persen reduksi sampah organik melalui pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF). Persen reduksi yang diperoleh kemudian digunakan untuk melihat potensi pemanfaatan larva BSF sebagai salah satu upaya reduksi sampah pasar organik di daerah perkotaan.

### **3.2 Kerangka Penelitian**

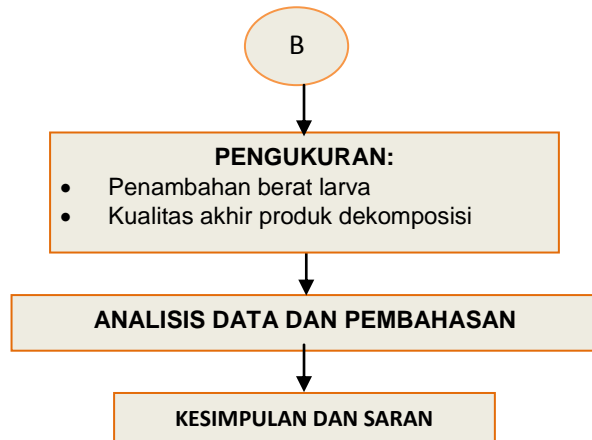
Penyusunan kerangka penelitian ini didasarkan pada studi literatur yang dilakukan, baik dari jurnal ilmiah, buku teks, laporan tugas akhir, yang mendukung pada penelitian pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF) untuk reduksi sampah organik sisa kegiatan pasar, *feeding rate* BSF optimum, dan karakteristik hasil dekomposisi sampah organik sisa kegiatan pasar yang dilakukan oleh larva BSF. Kemudian dilanjutkan dengan pelaksanaan penelitian yang meliputi penelitian terdahulu, dan penelitian utama (variasi *feeding rate* dan jenis makanan larva/jenis sampah).

Kerangka penelitian yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.









Gambar 3.1 Skema diagram alir kerangka penelitian

### 3.3 Tahapan Penelitian

#### 3.3.1 Ide Penelitian

Ide dari penelitian ini adalah pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF) atau *H. illucens* (Diptera: Stratiomyidae) sebagai salah satu upaya reduksi sampah organik *biodegradable* sisa kegiatan pasar. Ide penelitian ini muncul didasarkan pada kurangnya minat dan upaya pemanfaatan sampah organik, khususnya sampah dari kegiatan pasar seperti sampah sayur, buah, dan sampah ikan. Padahal timbulan sampah paling tinggi berasal dari sampah pasar organik. Keadaan ini membuat sampah organik langsung dibuang ke TPA tanpa ada pemanfaatan ataupun pengolahan. Tindakan ini tidak saja menambah beban TPA, tetapi juga meningkatkan produksi lindi dan gas rumah kaca. Berdasarkan penelitian Sipayung (2015) mengenai pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF), sampah dengan kandungan karbohidrat dan protein tinggi merupakan sumber nutrisi yang baik bagi larva *Black Soldier Fly* (BSF).

### 3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan guna mengumpulkan informasi dan data yang mendukung penelitian pemanfaatan larva BSF dalam mereduksi sampah organik *biodegradable*. Studi literatur ini akan memuat informasi mengenai komposisi sampah, laju larva *Black Soldier Fly* (BSF) dalam mengkonsumsi sampah, siklus hidup larva *Black Soldier Fly* (BSF), pertumbuhan larva yang dapat mendukung perlakuan, kejadian, analisis, dan pembahasan dari penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur dilakukan dengan memanfaatkan jurnal ilmiah, buku teks, laporan tugas akhir, dan sumber lain yang valid dan legal yang berhubungan dengan pemanfaatan larva BSF untuk reduksi sampah organik, khususnya sampah organik dari kegiatan pasar. Studi literatur akan dilakukan dimulai dari pembuatan proposal tugas akhir sampai pada penyelesaian laporannya.

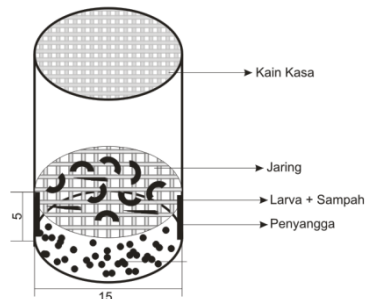
### 3.3.3 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian dilakukan dengan mempersiapkan segala alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian. Alat yang dipersiapkan yaitu segala keperluan pembuatan reaktor dan keperluan selama pelaksanaan penelitian. Bahan yang diperlukan yaitu sampah organik *biodegradable* yang banyak terdapat di pasar. Berikut merupakan rincian alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian.

- a. Alat yang diperlukan
  1. Stoples berukuran medium (volume 1 L) 24 buah sebagai reaktor
  2. Pinset
  3. Kuas ukuran kecil
  4. Ember ukuran 20 L sebagai tempat pengumpul sampah makanan
  5. Plastik dengan *zipper* (ukuran medium dan kecil)
  6. Kotak plastik ukuran besar ukuran 50 x 30 x 15 cm<sup>3</sup> sebagai tempat menaruh reaktor, sehingga terlindungi dari lalat jenis lain, tikus, ataupun pengganggu lainnya
  7. Kain kasa untuk penutup stoples berisi larva BSF
  8. Kawat kasa untuk menutup rak penempatan reaktor

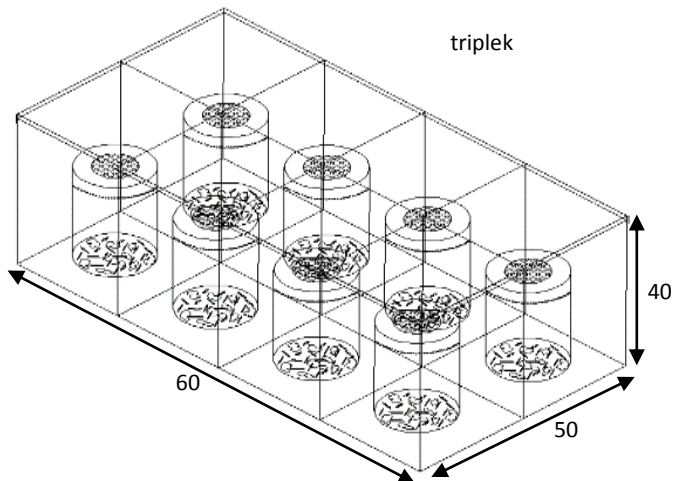
9. Wadah plastik berlubang sebagai pembatas antara zona sampah dan zona serapan air lindi
  10. Penyangga plastik berlubang
  11. Gunting
  12. Lem
  13. Selotip
  14. Marker/spidol
  15. Sendok (ukuran besar dan biasa)
  16. Oven dan desikator untuk mendapatkan berat kering sampah
  17. Cawan porselen atau cawan petri sebagai wadah sampah ketika dioven
  18. Termometer untuk mengetahui suhu udara di lokasi pembiakan larva
  19. Higrometer untuk mengetahui kelembaban udara di lokasi pembiakan larva
  20. Neraca analitik untuk mendapatkan berat kering sampah
  21. Papan triplek sebagai pembatasan antar reaktor di dalam kotak plastik
  22. Baut
  23. Rak untuk menaruh reaktor
  24. Kertas saring untuk menentukan berat kering sampah dan untuk mengeringkan larva sebelum ditimbang beratnya
- b. Bahan yang diperlukan
1. Larva BSF umur 1 (satu) minggu
  2. Sampah makanan berupa sampah:
    - Sampah sayur : selada, daun kol, sawi
    - Sampah buah : pisang, alpukat, nenas
    - Sampah ikan (jeroan, tulang)

Sebagai gambaran reaktor yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



(a) kotak plastik dimensi +/- 60 x 40 x 30 cm<sup>3</sup> dengan tutup

stoples



(b)

Gambar 3.2 (a) Reaktor pembiakan larva BSF; (b) Penyimpanan reaktor di dalam kotak plastik

### 3.3.4 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk memperoleh data pendukung yang diperlukan pada penelitian. Data tersebut yaitu karakteristik sampah berupa data kadar air, pH awal, dan nilai kandungan organik C dan N dari sampah dari tiap jenis sampah. Kadar air sampah diperoleh dari pengukuran berat kering sampah. Kadar air perlu diketahui untuk menghitung berat basah kebutuhan makanan larva untuk tiap jenis sampah. Pengukuran berat kering dilakukan dengan memanaskan sampel di dalam oven selama 24 jam pada suhu 105°C. Berat akhir yang diperoleh dari pemanasan dijadikan sebagai data berat kering (Diener, 2010). Pengukuran pH awal sampah perlu diketahui untuk melihat pengaruh pH terhadap kemampuan larva dalam mendekomposisi sampah. Hal ini juga dilakukan untuk melihat bilamana ada pengaruh pemanfaatan larva terhadap pH sampah di akhir percobaan. Pengujian kandungan C dan N awal sampah perlu dilakukan untuk dibandingkan di akhir penelitian terhadap kandungan C dan N residu.

### 3.3.5 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian akan dilakukan terhadap tiga kombinasi jenis sampah yang berbeda. Sebagai kontrol hasil akan digunakan jenis sampah yang sama namun tanpa larva. Prosedur pelaksanaan percobaan yang akan dilakukan pada kedua tahap ini adalah sama.

- ❖ Pembiakan BSF di kantor EAWAG Sidoarjo  
Sebelum memperoleh larva BSF yang digunakan dalam penelitian ini tentunya diperlukan upaya pembiakan BSF. Pembiakan BSF dilakukan di kantor EAWAG di kawasan Citra Garden, Sidoarjo. Pembiakan BSF dilakukan dengan menyediakan reaktor tempat pertumbuhan telur, reaktor tempat pertumbuhan larva, dan *ruang pembenihan* sebagai tempat pertumbuhan dan perkawinan lalat dewasa. Sebagai media tempat telur disediakan batangan kayu yang sudah diberi lubang pada sisinya atau dengan menggunakan kertas karton yang ditempel beberapa lapis.

Telur yang sudah diletakkan oleh BSF dewasa di media tersebut kemudian ditempatkan di reaktor kosong dan diberi tanda berdasarkan waktu pengumpulannya. Media telur diperiksa setiap hari, untuk mengecek bilamana telur sudah menetas. Larva mulai diberi makan bila telur yang menetas di dalam reaktor sudah banyak yang menetas menjadi larva. Makanan awal yang diberikan adalah pakan ayam yang telah dicampur yang ditambahkan dengan air. Waktu pengumpulan telur dan waktu tetas (pada saat mulai diberi makan) dicatat pada reaktor yang digunakan sebagai kontrol umur larva. Setiap reaktor yang digunakan diisi dengan larva yang sama tanggal waktu tetasnya, sehingga dapat diketahui umur larva tiap reaktor.

Selama pertumbuhannya larva yang dikembangbiakan diberi makanan yang beragam, mulai dari sampah rumah makan, sampah buah, dan sampah sayur. Pemberian makanan yang dilakukan di kantor EAWAG belum berdasarkan kebutuhan per larvanya, hanya sebatas jumlah yang tersedia dianggap masih cukup atau tidak.

Setelah larva berubah menjadi prepupa dan mulai keluar dari reaktor tempat makannya, prepupa dikumpulkan dan dipindahkan ke dalam *ruang pembenihan*. Di dalam ruang pembenihan telah disediakan tempat untuk pertumbuhan prepupa berupa serabut kelapa dan daun-daunan kering, karena diketahui prepupa dan pupa menyukai tempat kering dan gelap. Sumber air di dalam wadah juga disediakan untuk lalat dewasa minum dan mengurangi suhu *ruang pembenihan* dengan adanya penguapan serta tanaman hijau sebagai tempat hinggap lalat dewasa.

Ruang Pembenihan yang digunakan terbuat dari kain kasa yang dipasang pada rangka besi berukuran kurang lebih 2 meter x 1 meter. Menghindari adanya semut yang masuk ke dalam *ruang pembenihan*, kaki *ruang pembenihan* diletakkan pada cangkir plastik kosong di dalam wadah mangkok aluminium berisi air.

- ❖ Pengumpulan sampel sampah  
Sampah yang digunakan ada 3 jenis, yaitu sampah buah, sampah sayur, dan sampah ikan (jeroan, tulang). Sampah yang digunakan adalah sampah segar yang berumur 1-2 hari setelah dibuang. Sampah buah, sampah sayur, dan sampah ikan yang digunakan adalah campuran dari segala macam jenis buah, sayur, dan sampah ikan yang terdapat di pasar kebanyakan. Pemilihan jenis sampah ini didasarkan pada pengamatan di lapangan yang menunjukkan ketiga jenis sampah tersebut paling banyak dibuang tanpa pemanfaatan.

Sampah dikumpulkan langsung dari sumbernya dengan menggunakan karung goni dan dibawa langsung ke tempat pelaksanaan penelitian. Sampah dipastikan tidak tercampur dengan sampah non organik seperti plastik, yang dapat mempengaruhi hasil akhir percobaan. Kemudian sampah dicacah menggunakan mesin pencacah, untuk mempermudah BSF dalam memakan sampah tersebut. Setelah dicacah sampah dicampur sesuai kombinasi yang tertera di Tabel 3.1, kemudian sampah langsung dimasukkan ke dalam reaktor yang tersedia. Komposisi pencampuran sampah berdasarkan persentase sampah yang paling banyak di pasar. Tujuan mengkombinasi jenis sampah adalah untuk mengetahui jenis sampah yang paling baik bagi pakan larva BSF berdasarkan kondisi eksisting sampah pasar. Penambahan sampah berdasarkan *feeding rate* sebagai berikut

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

No	Sumber Sampah	Feeding Rate (mg/larva.hari)
1	Sayur:Buah (50:50)	20
		40
		60
2	Ikan	20
		40
		60



Tabel 3.1 Lanjutan

No	Sumber Sampah	Feeding Rate (mg/larva.hari)
3	Sayur:Buah:Ikan = (40:35:25)	20
		40
		60

Sumber : Diener *et al.*, 2010; Diener *et al.*, 2011 ; Ferina, 2014; Sipayung, 2015

Kebutuhan sampel sampah untuk waktu 3 (tiga) minggu didasarkan pada perhitungan berikut.

Diketahui :

Sampel 1 (*feeding rate* = 20 mg/larva.hari

Kebutuhan satu ekor larva adalah 20 mg/hari (berat kering)

banyak larva per reaktor (n) = 200 ekor

Ditanya : Kebutuhan sampah per tiga minggu (berat kering)

Jawab :

- Sayur+Buah (50:50) =(10 mg/hari x 200 ekor) + (10 mg/hari x 200 ekor)  
Sayur = 2000 mg/hari = 2 gram/hari  
Buah = 2000 mg/hari = 2 gram /hari  
Dilakukan 2 kali pengulangan  
Sayur = 2 gram /hari x 2= 4 gram /hari  
Buah = 2 gram /hari x 2 = 4 gram /hari
- Ikan = 20 mg/hari x 200 ekor = 4000 mg/hari = 4 gram /hari  
Dilakukan 2 kali pengulangan = 4 gram /hari x 2 = 8 gram /hari
- Sayur+buah+ikan = 40:35:25  
Sayur = 4 mg/larva x 200 ekor = 800 mg/hari = 0,8 gram /hari  
Buah = 3,5 mg/hari x 200 ekor = 700 mg/hari = 0,7 gram /hari  
Ikan = 2,5 mg/hari x 200 ekor = 500 mg/hari = 0,5 gram /hari  
Dilakukan 2 kali pengulangan

Sayur =  $0,8 \text{ gram/hari} \times 2 = 1,6 \text{ gram /hari}$

Buah =  $0,7 \text{ gram/hari} \times 2 = 1,4 \text{ gram /hari}$

Ikan =  $0,5 \text{ gram/hari} \times 2 = 1 \text{ gram /hari}$

Sampel 2 (*feeding rate* 40 mg/larva.hari)

Kebutuhan satu ekor larva adalah 40 mg/hari (berat kering)

banyak larva per reaktor (n) = 200 ekor

Ditanya : Kebutuhan sampah per tiga minggu (berat kering)

Jawab :

- Sayur+Buah = 50 : 50

Sayur =  $20 \text{ mg/hari} \times 200 \text{ ekor} = 4000 \text{ mg/hari} = 4 \text{ gram/hari}$

Buah =  $20 \text{ mg/hari} \times 200 \text{ ekor} = 4000 \text{ mg/hari} = 4 \text{ gram/hari}$

Dilakukan 2 kali pengulangan

Sayur =  $4 \text{ gram/hari} \times 2 = 8 \text{ gram/hari}$

Buah =  $4 \text{ gram/hari} \times 2 = 8 \text{ gram/hari}$

- Ikan =  $40 \text{ mg/hari} \times 200 \text{ ekor} = 8000 \text{ mg/hari} = 8 \text{ gram/hari}$

Dilakukan 2 kali pengulangan =  $8 \text{ gram/hari} \times 2 = 16 \text{ gram/hari}$

- Sayur+buah+ikan = 40:35:25

Sayur =  $16 \text{ mg/larva} \times 200 \text{ ekor} = 3200 \text{ mg/hari} = 3,2 \text{ gram/hari}$

Buah =  $14 \text{ mg/hari} \times 200 \text{ ekor} = 2800 \text{ mg/hari} = 2,8 \text{ gram/hari}$

Ikan =  $10 \text{ mg/hari} \times 200 \text{ ekor} = 2000 \text{ mg/hari} = 2 \text{ gram/hari}$

Dilakukan 2 kali pengulangan

Sayur =  $3,2 \text{ gram/hari} \times 2 = 6,4 \text{ gram/hari}$

Buah =  $2,8 \text{ gram/hari} \times 2 = 5,6 \text{ gram/hari}$

Ikan =  $2 \text{ gram/hari} \times 2 = 4 \text{ gram/hari}$

Sampel 3 (*feeding rate* 60 mg/larva.hari)

Kebutuhan satu ekor larva adalah 60 mg/hari (berat kering)

banyak larva per reaktor (n) = 200 ekor

Ditanya : Kebutuhan sampah per tiga minggu (berat kering)

Jawab :

- Sayur+Buah = 50 : 50  
Sayur = 30 mg/hari x 200 ekor = 6000 mg/hari = 6 gram/hari  
Buah = 30 mg/hari x 200 ekor = 6000 mg/hari = 6 gram/hari  
Dilakukan 2 kali pengulangan  
Sayur = 6 gram/hari x 2 = 12 gram/hari  
Buah = 6 gram/hari x 2 = 12 gram/hari
- Ikan = 60 mg/hari x 200 ekor = 12000 mg/hari = 12 gram/hari  
Dilakukan 2 kali pengulangan = 12 gram/hari x 2 = 24 gram/hari
- Sayur+buah+ikan = 40:35:25  
Sayur = 24 mg/larva x 200 ekor = 4800 mg/hari = 4,8 gram/hari  
Buah = 21 mg/hari x 200 ekor = 4200 mg/hari = 4,2 gram/hari  
Ikan = 15 mg/hari x 200 ekor = 3000 mg/hari = 3 gram/hari  
Dilakukan 2 kali pengulangan  
Sayur = 4,8 gram/hari x 2 = 9,6 gram/hari  
Buah = 4,2 gram/hari x 2 = 8,4 gram/hari  
Ikan = 3 gram/hari x 2 = 6 gram/hari

Lama pelaksanaan percobaan adalah 3 minggu (21 hari)

kebutuhan sampel sampah ( 21 hari perjenis sampah, berat kering)

- Sayur = (4+1,6+8+6,4+12+9,6) gram/hari x 21 hari = 873,6 gram
- Buah = (4+1,4+8+5,6+12+8,4) gram/hari x 21 hari = 827,4 gram
- Ikan = (8+1+16+4+24+6) gram/hari x 21 hari = 1239 gram

Kebutuhan sampel control (tanpa larva )  
(feeding rate 20 mg/larva.hari)

- Sayur+Buah (50:50) =(10 mg/larva.hari) + (10 mg/larva.hari)  
Sayur = 10 mg/larva.hari x 200 ekor x 21 hari = 42 gram  
Buah = 10 mg/larva.hari x 200 ekor x 21 hari = 42 gram
- Ikan = 20 mg/larva.hari x 200 ekor x 21 hari = 84 gram
- Sayur+buah+ikan = 40:35:25  
Sayur = 8 mg/larva.hari x 200 ekor x 21 hari = 33,6 gram  
Buah = 7 mg/larva.hari x 200 ekor x 21 hari = 29,4 gram  
Ikan = 5 mg/larva.hari x 200 ekor x 21 hari = 21 gram

Kebutuhan sampel control

- Sayur = 75,6 gram
- Buah = 71,4 gram
- Ikan = 105 gram

- ❖ Pengukuran berat kering dan kebutuhan sampel
- Berat kering sampah diketahui melalui pemanasan sejumlah sampel sampah pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam (Diener, 2010). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan neraca analitik, untuk mendapat nilai yang presisi. Data berat kering ini akan digunakan untuk menghitung persen kadar air pada sampah yang diukur. Persen kadar air ini kemudian digunakan untuk menghitung berat basah kebutuhan makanan larva BSF berdasarkan persamaan (2.1). Hasil perhitungan akan digunakan sebagai data berat (dalam berat kering) dari sampah yang diperlukan selama pelaksanaan penelitian. Metode analisis kadar air sampel dapat dilihat di Lampiran. Sesuai kebutuhan makanan berdasarkan berat kering, dapat dihitung kebutuhan sampah yang diperlukan

perharinya berdasarkan berat basahnya. Berikut merupakan contoh perhitungan yang dapat dilakukan:

Diketahui :

Berat Kering (BK) = 20 mg/larva.hari

Kadar Air (% air) =  $y\% = y/100$

Banyak larva/wadah (n) = 200 ekor larva

Ditanya :

Kebutuhan berat basah (TB) perhari = ? mg/hari

$$\text{Jawab:} \quad \% \text{ air} = \frac{BB - BK}{BB} \times 100$$

$$BB - BK = [(\% \text{air} \times BB)/100 \%]$$

$$BB - 20 \text{ mg/larva.hari} = (y/100 \times BB)$$

$$\frac{100 + y}{100} BB = 20 \text{ mg/larva/hari}$$

$$BB = \frac{2000}{100 + y} \text{ mg/larva/hari}$$

Sehingga diperoleh,

$$TB = BB \times n$$

$$TB = \frac{2000}{100 + y} \text{ mg/larva/hari} \times 200 \text{ larva}$$

$$= \frac{400000}{100 + y} \text{ mg/hari}$$

Hasil perhitungan kebutuhan berat basah sampah total perhari di atas digunakan sebagai total berat basah makanan larva BSF dalam 1 (satu) reaktor. Porsi makanan larva yang disiapkan adalah berdasarkan variasi *feeding rate*, yaitu untuk porsi makan 1 (satu) kali sehari.

#### ❖ **Pemanfaatan sampah kegiatan pasar sebagai pakan larva BSF**

Penelitian akan dilakukan dengan 2 (dua) variabel. Variabel pertama berdasarkan kombinasi jenis sampah dan variabel kedua berdasarkan *feeding rate*. Hasil dari masing-masing reaktor akan dibandingkan dengan reaktor

kontrol yaitu sampel yang sama namun tanpa larva BSF. Sampel kontrol diperlakukan sama dengan sampel uji namun hanya berdasarkan *feeding rate* 20 mg/larva.hari. Berdasarkan jumlah variabel dan banyak data yang digunakan (dua kali pengulangan), maka dibutuhkan sebanyak 18 reaktor uji, dan 3 reaktor kontrol. Data penggunaan reaktor dapat dilihat di Tabel 3.1.

Jumlah larva yang dimasukkan untuk percobaan ini adalah sebanyak 200 ekor per reaktor dengan umur larva 1 (satu) minggu. Sehingga dengan kebutuhan 200 larva tiap reaktor pada 18 reaktor, diperlukan total 3600 ekor larva. Larva BSF yang diambil dari kantor EAWAG adalah larva yang berumur tepat 1 (satu) minggu, berumur 6 hari, dan berumur 5 hari. Perlakuan ini akan memungkinkan pelaksanaan penelitian berlangsung dengan menggunakan larva BSF berumur sama yaitu 1 (satu) minggu. Sebelum dimasukkan ke dalam reaktor, berat awal total 200 larva di tiap reaktor ditimbang terlebih dahulu untuk dibandingkan di akhir percobaan.

Pemberian makanan dilakukan sekali sehari, setiap harinya harus dilakukan kontrol rutin. Kontrol rutin mencakup pengukuran suhu dan kelembaban udara (Popa dan Green, 2012; Bullock *et al.*, 2013; Holmes *et al.*, 2012) di dalam tempat penelitian (*workshop* TL). Kontrol rutin juga dilakukan untuk mengamati perubahan fisik pada sampah dan perubahan fisik pada larva seperti adanya larva yang mati, keluar dari wadahnya, ataupun larva yang sudah berubah menjadi prepupa. Setiap keadaan dan perubahan yang terjadi harus dicatat setiap harinya sebagai data untuk dianalisis pada saat pembuatan laporan.

Mengatasi peningkatan suhu lebih dari suhu optimum tumbuh larva (36°C) pada saat pelaksanaan penelitian, maka tingginya suhu di bawah kotak penyimpanan reaktor diletakkan wadah berisi air. Adanya wadah berisi air ini akan mengurangi panas di sekitar reaktor, sehingga suhu sekitar reaktor sesuai untuk tempat tumbuh larva. Selain itu

keberadaan air di bawah kotak penyimpanan reaktor ini dapat mencegah masuknya semut ke dalam reaktor. Suhu ruangan juga akan dikontrol tiap harinya.

Pengukuran pH sampah dilakukan pada awal dan tiap tiga hari masa waktu *running*. Pengukuran pH dilakukan dengan mengambil sampel sampah kurang lebih 4 gram dan dicampur dengan 20 mL aquades, kemudian dilakukan pengadukan dengan *shacker* pada kecepatan 150 rpm kurang lebih satu jam. Air hasil pengadukan digunakan untuk mengukur pH sampah dengan menggunakan pH meter.

Mengukur pH awal sampah dilakukan dengan masing-masing sampah segar, pengukuran pH sampah tiap tiga hari dilakukan dengan mengambil sampah yang tersisa di reaktor sebelum proses *feeding* dilakukan, dan pH akhir menggunakan residu hasil dekomposisi masing-masing jenis sampah oleh larva BSF. Pengukuran pH ini diperlukan untuk melihat pengaruh penggunaan larva BSF pada perubahan pH yang mungkin terjadi pada sampah. Secara lengkap, prosedur pengukuran pH ini dapat dilihat di Lampiran.

Pengukuran berat tubuh larva dilakukan pada awal, setiap tiga hari, dan akhir waktu *running*. Pada awal dan akhir percobaan, berat tumbuh larva ditimbang secara keseluruhan (200 ekor larva). Pengukuran tiap tiga hari percobaan dilakukan terhadap 10% jumlah larva yang hidup (Diener *et al.*, 2011), sebagai representasi penambahan berat larva secara keseluruhan dalam satu reaktor. Jika selama 21 hari terjadi perubahan larva menjadi prepupa maka, yang sampel yang diambil untuk dihitung beratnya adalah 10% dari jumlah prepupa dan 10% dari jumlah larva, dan hasilnya akan dijumlah.

Pengukuran berat kering larva BSF dilakukan pada awal percobaan, pertengahan, dan akhir percobaan. Pengukuran dilakukan dengan mengambil 5 % larva BSF

kemudian ditimbang, lalu dioven pada suhu 105°C dalam waktu 24 jam. Kemudian didiamkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang menggunakan neraca analitik dan didapat berat kering. Berat kering digunakan untuk mencari kadar air dari larva BSF.

Selama pelaksanaan penelitian tidak dapat dipastikan seluruh larva akan bertahan sampai akhir, dimana beberapa larva mungkin akan mati sebelum larva mencapai tahap prepupa (Myers *et al.*, 2008). Bila terjadi hal demikian, larva yang mati akan dikelurakan dari reaktor dan ditimbang berat keringnya. Namun ketika kematian mencapai lebih dari 50% (dalam beberapa hari penelitian) percobaan dihentikan, karena hal tersebut mengindikasikan makanan yang diberikan tidak cocok bagi larva. Kematian pada larva saat percobaan juga dapat disebabkan terlalu tingginya suhu di lokasi penelitian atau adanya kandungan toksik pada makanan yang diberikan.

#### ❖ **Pengukuran Berat Kering Sampah**

Pengukuran berat kering sampah dilakukan pada awal dan akhir percobaan. Pengukuran ini dilakukan untuk mendapat kadar air sampah sebelum percobaan dan setelah 21 hari masa *running*. Sampel yang tertinggal di dalam reaktor sampai hari terakhir percobaan akan dijadikan sebagai data residu. Data residu yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung tingkat reduksi sampah yang telah dilakukan oleh larva BSF selama masa percobaan (Diener, 2010).

#### ❖ **Uji Kandungan Rasio C/N Sampah**

Pengukuran kandungan karbon (C) dan nitrogen (N) sampah akan dilakukan di awal dan akhir percobaan. Perlakuan ini dilakukan untuk menentukan rasio C/N sampah pada akhir percobaan. Selain itu, uji kandungan C dan N ini dilakukan untuk melihat tingkat degradasi yang mungkin terjadi terhadap kandungan C dan N dari sampel sampah yang digunakan oleh larva BSF. Tujuan penentuan rasio C/N dari residu sampah ini adalah untuk melihat



potensi pemanfaatan residu sebagai bahan untuk pengomposan. Syarat terjadinya pengomposan yang baik adalah rasio C/N sampah yaitu antara 25:1 sampai 40:1 (Rynk *et al.*, 1992). Berdasarkan nilai tersebut, pengujian rasio C dan N pada residu hasil dekomposisi sampah oleh larva BSF penting untuk dilakukan.

Uji kandungan C dan N pada awal penelitian akan dilakukan untuk ketiga jenis campuran sampah dan kontrol, sehingga diperoleh 27 data kandungan organik. Pengujian kandungan C dan N dari residu (akhir percobaan) akan dilakukan terhadap ketiga jenis sampah dari tiap *feeding rate* yang dilakukan ditambah kontrol pembanding dari tiap jenis sampah. Data uji kandungan C dan N akhir (residu) ada sebanyak 18 data, dan 9 data dari sampel kontrol, sehingga total data uji kandungan C dan N residu juga sebanyak 27 data.

Pengujian kandungan C dan N ini akan dilaksanakan di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Teknik Lingkungan ITS, Surabaya. Prosedur pengujian kandungan organik terdapat pada Lampiran proposal TA ini.

### **3.3.6 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan setiap hari dalam suatu *log book*, guna mencatat setiap perlakuan dan perubahan yang diperoleh berdasarkan kontrol rutin setiap harinya. Data dari *log book* yang diperoleh akan digunakan sebagai bahan untuk mengolah data mengenai tingkat reduksi sampah yang dilakukan larva BSF. Penggunaan *log book* ini bertujuan untuk menghindari kesalahan pengumpulan data yang akan berpengaruh pada hasil akhir penelitian nantinya. Pengumpulan data sekunder seperti jurnal dan literatur lain juga diperlukan sebagai data pendukung dan pembanding yang mungkin dapat digunakan pada saat penulisan laporan.

### 3.3.7 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dari hasil penelitian ini dilakukan berdasarkan dari tujuan awal penelitian yang telah dibuat. Analisis kemampuan larva dalam mendekomposisi sampah ditentukan berdasarkan tingkat reduksi sampah yang dilakukan larva BSF pada tiap jenis sampah yang diberikan. Penentuan pengaruh tingkat pertumbuhan larva berdasarkan jenis makanan dan *feeding rate* dilakukan berdasarkan berat akhir larva setelah waktu running selesai. Karakteristik hasil dekomposisi sampah oleh larva BSF dianalisis berdasarkan uji kadar air, uji pH, dan uji kandungan C/N dari residu yang dihasilkan. Dari 2 variabel yaitu variasi *feeding rate* dan variasi jenis sampah, dan dilakukan 2 kali pengulangan sehingga di dapat 21 data, yang selanjutnya dianalisis. Analisis dan pembahasan data berdasarkan tujuan penelitian ini harus disesuaikan dengan studi literatur yang telah dilakukan sebagai pendukung maupun pembandingan hasil yang diperoleh. Semua faktor yang berpengaruh secara sengaja maupun tidak sengaja selama pelaksanaan penelitian harus dibahas secara detail untuk mendapatkan hasil analisis dan kesimpulan yang terbaik.

### 3.3.8 Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan yang diperoleh selama penelitian, yaitu berupa pengaruh jenis makanan dan *feeding rate* terhadap reduksi sampah pasar dan perkembangbiakan larva BSF. Pemberian saran dilakukan untuk perbaikan dan pengembangan penelitian mengenai pemanfaatan BSF untuk reduksi sampah organik ke depannya.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakteristik Awal Sampel

##### 4.1.1 Kadar Air Sampel

Dari hasil pengukuran kadar air diperoleh bahwa sampel sayur selada memiliki kadar air paling tinggi yakni 93,92 %, dan ikan memiliki kadar air paling rendah yakni 72,18 %. Sementara menurut Kroes, 2012 kadar air optimum untuk makanan larva adalah 60-90 %. Kadar air perlu diketahui dan dipantau karena kadar air sampel dapat mempengaruhi pertumbuhan larva BSF (Kroes, 2012).

Tabel 4.1 Data Pengukuran Kadar Air Sampel Sampah

Jenis Sampah	Kadar Air %
Daun Kembang Kol	90.02
sawi hijau	92.70
Pisang	80.98
Alpukat	87.13
Selada	93.92
Jeroan ikan	72.18
Nenas	89.55

Kadar air sampel awal diperlukan untuk mengetahui berat basah yang akan digunakan selama penelitian (Diener, 2011). Dari data kadar air sampel tersebut selanjutnya didapat berat kering sampel dan dapat menentukan komposisi campuran sampel larva tiap reaktornya. Komposisi sampah berdasarkan kondisi eksisting komposisi sampah organik di pasar. Setelah didapat komposisi sampah berdasarkan berat kering maka didapat komposisi berat basah sampel tiap reaktornya. Semakin tinggi kadar air jenis

sampah maka semakin besar sampel yang perlu disiapkan. Data masing-masing berat basah sampel akan dilampirkan

Dari data kebutuhan berat basah diperoleh kebutuhan sampel yang akan diberikan sebagai makan larva BSF tiap-tiap reaktornya. Tiap jenis sampah ditimbang berdasarkan berat tersebut menggunakan neraca kasar kapasitas 3 kg dan hasil timbangan akan diaduk agar homogen lalu diberikan kepada larva. Pemberian makanan larva dilakukan tiap hari, pemberian dilakukan pada sore hari untuk menghindari lalat pengganggu.

Sampel yang sudah dicampur berdasarkan komposisi dan *feeding rate* yang dilakukan diukur kadar air awalnya, agar dapat dibandingkan kadar air awal sampel dengan kadar air akhir sampel.

Tabel 4.2 Data Pengukuran Kadar Air Awal Sampel

Sampel	Kadar Air %
Sayur:Buah (20mg/larva)	90.91
Sayur:Buah (40mg/larva)	89.89
Sayur:Buah (60mg/larva)	89.28
Jeroan Ikan	72.18
Sayur:Buah: Jeroan Ikan (20mg/larva)	87.71
Sayur:Buah: Jeroan Ikan (40mg/larva)	88.20
Sayur:Buah: Jeroan Ikan (60mg/larva)	89.01

Dari data tersebut diperoleh bahwa komposisi sayur dan buah dengan perbandingan 50:50 dan berdasarkan kebutuhan larva yakni 20 mg/larva.hari memiliki kandungan air yang paling tinggi yakni 90,91 % dan sampel ikan memiliki kadar air 72,18 %. Menurut Tchobanoglous, 1993 range kadar air sampah sayuran (*mixed*) dan sampah buahan (*mixed*) berkisar antara 60-90 %.

#### 4.1.2 pH awal sampel

Pengukuran pH awal sampel perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH terhadap pertumbuhan larva BSF. Data yang diperoleh dengan menggunakan pH meter menunjukkan pH awal sampel dalam kondisi asam ( $<7$ ). Rentang pH awal yang di dapat antara 5,36 hingga 6,41. Menurut Tchobanoglous dan Kreith, 2002 rentang pH tersebut masih memungkinkan untuk organisme dapat berkembang. Kondisi dimana jamur juga dapat berkembang biak dengan baik yakni pada pH 5,6, hal tersebut ditunjukkan dengan tumbuhnya jamur setelah 3 hari berikutnya.

Tabel 4.3 Data Pengukuran pH awal sampel

Larva	pH
Sayur:Buah (20)	5.46
Sayur:Buah (40)	5.49
Sayur:Buah (60)	5.39
Jeroan Ikan (20)	6.41
Jeroan Ikan (40)	5.95
Jeroan Ikan (60)	6.41
Sayur:Buah: Jeroan Ikan (20)	5.36
Sayur:Buah: Jeroan Ikan (40)	5.77
Sayur:Buah: Jeroan Ikan (60)	5.97
Sayur:Buah (kontrol)	5.46
Sayur:Buah:Ikan (kontrol)	5.36
ikan (kontrol)	6.41

#### 4.2 Hasil Penelitian

##### 4.2.1 Pertumbuhan Larva Black Soldier Fly

Pertumbuhan berat larva perlu dipantau untuk mengetahui pengaruh dari tiap jenis sampah terhadap peningkatan pertumbuhan larva. Sebelum ditimbang 10% larva terlebih dahulu diletakkan di atas tisu untuk menghilangkan air dan sampel

sampah yang melekat ditubuh larva. Rata-rata peningkatan berat tubuh larva mencapai 50% tiap tiga harinya.

#### **4.2.1.1 Pertumbuhan larva pada sampel sayur : buah**

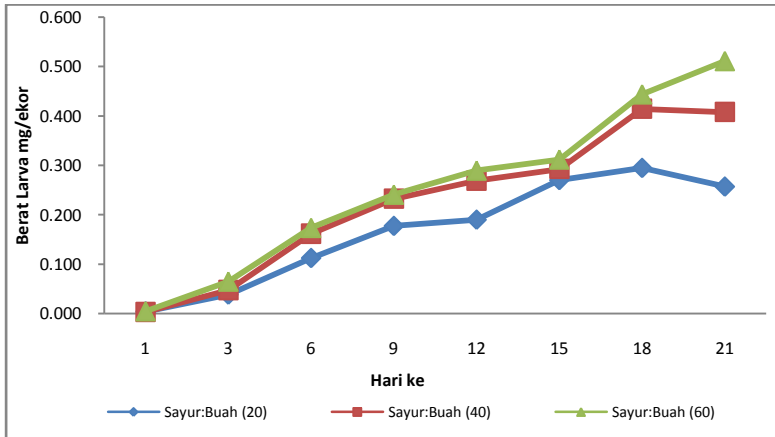
Larva BSF pada sampel sayur buah memiliki tingkat pertumbuhan yang paling tinggi, rata-rata pertumbuhan adalah lebih dari 60 %. Pada sampel sayur : buah pertumbuhan larva sangat cepat, rata-rata perubahan larva menjadi prepupa sudah terjadi pada hari ke-9 (umur larva 16 hari). Pada hari ke-9 larva yang berubah menjadi prepupa mencapai hingga 12%, perubahan mencapai 70% larva terjadi pada hari ke-18 (umur larva 25 hari). Setelah menjadi prepupa BSF tidak melakukan proses *feeding* (Diener *et al*, 2011), sehingga prepupa dipisahkan dari sampel sampah.

Pertumbuhan yang signifikan dikarenakan sampel memiliki kandungan nutrisi yang bervariasi yang berasal dari sayuran dan buah, dan turut mempercepat metabolisme larva. Rasio C/N yang baik mendukung untuk berlangsungnya proses metabolisme yang baik pada larva.

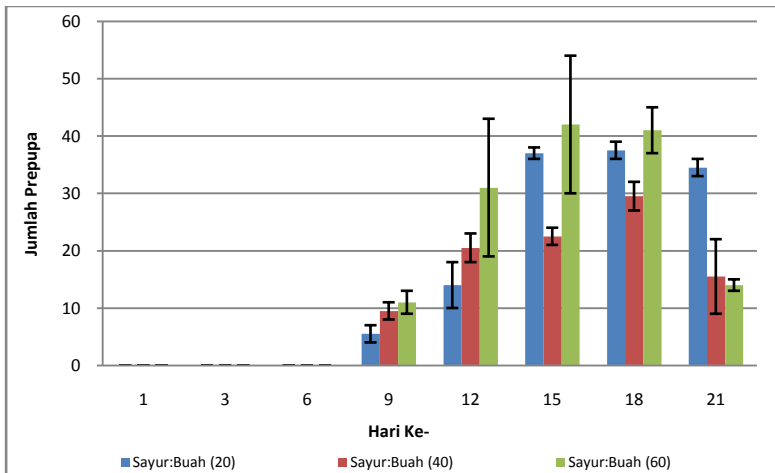
BSF pada tahap prepupa dipisahkan kedalam wadah kering dan diletakkan di tempat gelap, karena prepupa BSF dapat berkembang biak dengan baik pada kondisi tersebut. Prepupa BSF memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan larva BSF, dan warna prepupa berubah menjadi gelap. Penurunan berat tubuh juga terjadi pada saat larva berubah menjadi prepupa, hal ini disebabkan prepupa tidak makan lagi dan cadangan lemak didalam tubuhnya dimanfaatkan untuk proses metabolisme (Diener *et al*, 2011).

Pertumbuhan larva sebanding dengan banyaknya jumlah larva yang berubah menjadi prepupa. Semakin cepat pertumbuhan berat larva maka semakin cepat pula larva berubah menjadi prepupa. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa *feeding rate* 60 mg/larva.hari memiliki kecepatan perubahan larva menjadi prepupa yang lebih tinggi. Pada *feeding rate* 60 mg/larva.hari pada hari ke-18 perubahan

sudah mencapai 63 %. Sementara pada sampel sayur:buah dengan *feeding rate* 20 mg/larva.hari dan 40 mg/larva.hari masing-masing 37 % dan 41 % larva yang berubah menjadi prepupa pada hari ke-18.



Gambar 4.1 Pertumbuhan Larva pada Sampel Sayur:Buah

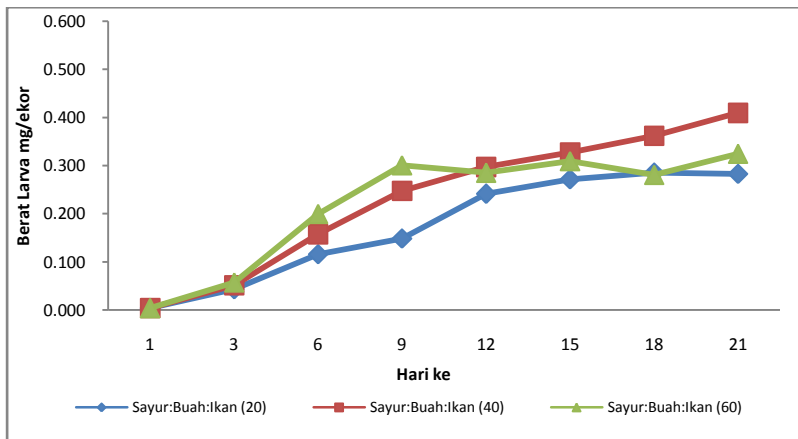


Gambar 4.2 Jumlah Prepupa BSF pada Sampel Sayur:Buah



#### 4.2.1.2 Pertumbuhan larva pada sampel sayur : buah : jeroan ikan

Pertumbuhan larva pada sampel ini tidak begitu signifikan jika dibanding larva pada sampel sayur : buah. Berat tertinggi ada pada sampel dengan *feeding rate* 20mg/larva.hari yakni 0,4 gram/larva (umur larva 28 hari). Pertumbuhan larva pada *feeding rate* 60mg/larva.hari memiliki tingkat paling rendah, hal ini dikarenakan terlalu banyaknya sampel yang diberikan dan menyisakan banyak residu sampah. Hal tersebut menciptakan kondisi yang anaerobik pada bagian bawah wadah sampel, kondisi tersebut menghambat akses larva kesumber makanan, sehingga reduksi sampah berkurang dan pertumbuhan larva tidak optimal.

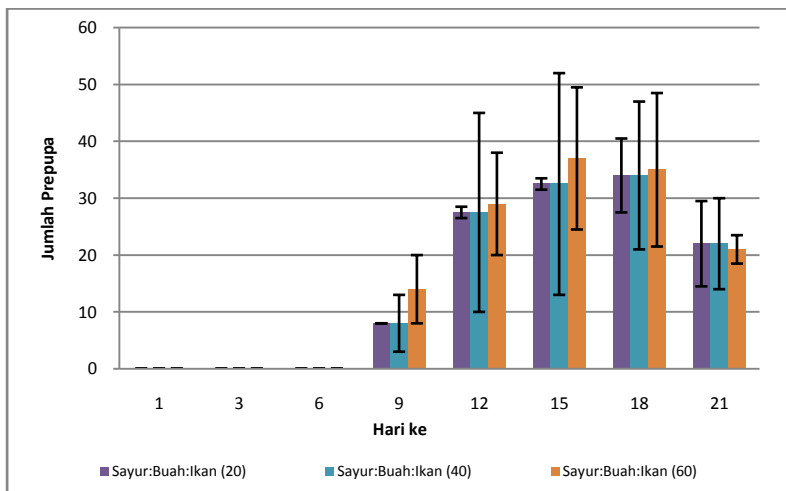


Gambar 4.3 Pertumbuhan Larva pada Sampel Sayur:Buah:Ikan

Perubahan larva menjadi prepupa pada sampel sayur : buah : ikan mulai terjadi pada hari ke-11 (umur larva 18 hari) dengan perubahan mencapai 6 %. Perubahan larva mencapai 70 % pada hari terakhir (umur larva 28 hari). Kurang optimalnya pertumbuhan larva dikarenakan adanya polutan yang terkandung dalam jeroan ikan yang dapat menghambat pertumbuhan larva. Angka kematian larva BSF pada sampel ini juga lebih tinggi dari

pada sampel sayur: buah yakni mencapai 25% lebih tinggi dibandingkan angka kematian larva BSF sayur : buah (15%).

Perubahan larva menjadi prepupa pada sampel sayur:buah:ikan lebih sedikit lambat jika dibanding dengan sampel sayur:buah. Hal tersebut juga sesuai dengan pertumbuhan berat larva yang lebih lambat jika dibanding dengan sampel sayur:buah. Perubahan larva menjadi prepupa dipengaruhi oleh nutrisi yang baik pada sampel makanan larva, sehingga mempercepat pertumbuhan.



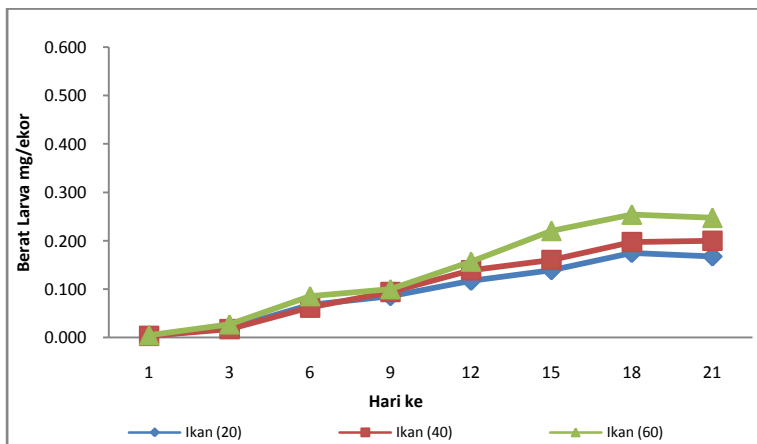
Gambar 4.4 Jumlah Prepupa BSF pada Sampel Sayur:Buah:Ikan

#### 4.2.1.3 Pertumbuhan larva pada sampel jeroan ikan

Pertumbuhan larva pada sampel jeroan ikan memiliki tingkat pertumbuhan yang sangat rendah dan juga tingkat kematian larva yang tinggi. Pertumbuhan berat larva paling tinggi hanya 0,23 gram/larva. Hal tersebut dikarenakan larva BSF tidak menyukai sampah jeroan ikan yang diberikan sebagai makanannya. Sehingga, pertumbuhan larva tidak signifikan.

Perkembangan larva pada sampel ini hanya mengalami pertumbuhan sekitar 4% perharinya, dua kali lebih rendah jika

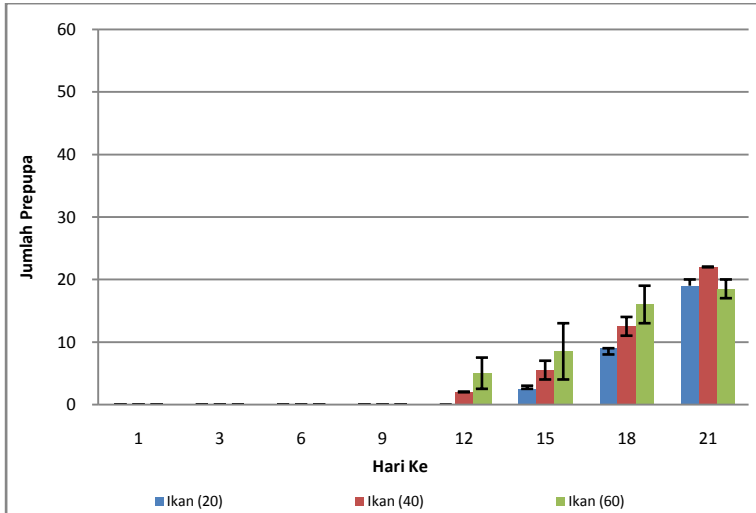
dibanding sampel sayur : buah (>8%). Angka kematian larva juga menunjukkan persen tertinggi pada sampel jeroan ikan dengan *feeding rate* 60 mg/larva.hari yakni melebihi dari 50% kematian. Angka kematian yang tinggi semakin memperkuat dugaan bahwa jeroan ikan mengandung kadar logam berat yang tinggi. Faktor lain yang menjadi angka pertumbuhan larva yang sangat rendah adalah kadar pH. Kadar pH pada sampel jeroan ikan menunjukkan kadar basa (>7), yang mana kondisi pH yang cocok untuk mendegradasi materi organik adalah pH asam ( 5 – 6,5) (Ismayana *et al.*, 2012).



Gambar 4.5 Pertumbuhan Larva pada Sampel Ikan

Tren pertambahan jumlah prepupa pada sampel ikan semakin meningkat dari hari ke-12 hingga hari ke-21. Hal tersebut berbeda dengan dengan sampel sayur:buah dan sayur:buah:ikan yang naik dari hari ke-9 ke hari ke-18, namun menurun pada hari ke-21. Penurunan yang terjadi dikarenakan sudah hampir semua larva BSF berubah menjadi larva, dan pertumbuhan larva jadi tidak begitu signifikan. Namun pada sampel ikan prepupa baru terbentuk pada hari ke-12, terlambat jika dibandingkan dua sampel lainnya. Jumlah prepupa terus meningkat menunjukkan banyaknya larva BSF yang masih terdapat pada sampel ikan. Jumlah prepupa yang paling banyak terdapat pada sampel ikan

dengan *feeding rate* 60 mg/lava.hari, hal tersebut sesuai dengan persentase pertumbuhan tubuh larva (Gambar 4.6).



Gambar 4.6 Jumlah Prepupa BSF pada Sampel Ikan

#### 4.2.2 Kadar Air Larva BSF

Pada awal penelitian kadar air larva diukur agar dapat nantinya dibandingkan pada akhir penelitian. Kadar air larva selanjutnya akan diukur pada pertengahan percobaan yakni hari ke-10 dengan mengukur kadar air pada 5% dari total jumlah larva. Pada saat larva berumur 7 hari kadar air larva mencapai 78 %, dan pada saat akhir (umur larva 28 hari) kadar airnya menurun menjadi rata-rata 65 %.

Kadar air akan menurun seiring perubahan dari larva ke prepupa, perubahan terjadi dikarenakan prepupa BSF tidak lagi memakan makanannya, dan kandungan lemak yang ada di dalam tubuhnya digunakan untuk proses metabolisme. Dalam proses metabolisme tersebut menyebabkan kadar air tubuh prepupa BSF menurun.

Tabel 4.4 Data Pengukuran Persen Kadar Air Akhir Larva

Sampel	Kadar Air %
Sayur:Buah (20mg/larva)	67.41
Sayur:Buah (40mg/larva)	64.11
Sayur:Buah (60mg/larva)	63.37
Ikan (20mg/larva)	67.10
Ikan (40mg/larva)	65.86
Ikan (60mg/larva)	67.29
Sayur:Buah:Ikan (20mg/larva)	62.50
Sayur:Buah:Ikan (40mg/larva)	64.26
Sayur:Buah:Ikan (60mg/larva)	62.23

#### 4.2.3 Pengukuran pH Sampel

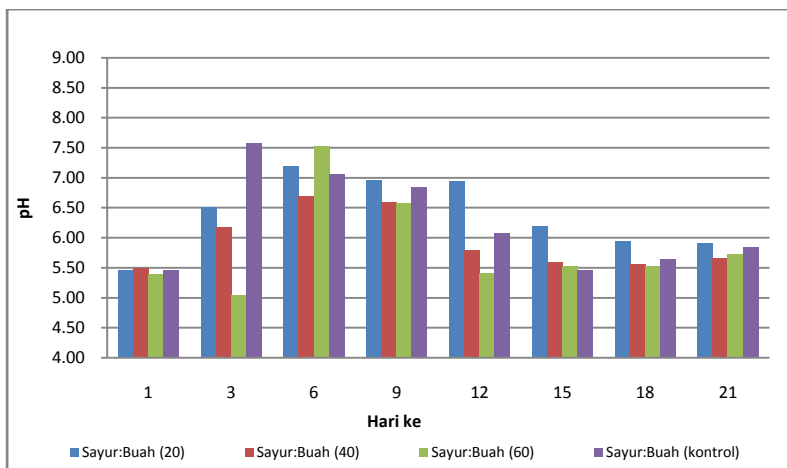
Pengukuran pH dilakukan guna melihat pengaruh pH sampel sampah terhadap pertumbuhan dan dekomposisi sampah yang dilakukan larva BSF. Kondisi pH rata-rata adalah asam ( $<7$ ), kecuali untuk sampel ikan pHnya adalah  $>7$ . Data pengukuran pH paling rendah diperoleh dari sampel sampah Sayur:Buah yaitu 4,80 dan yang paling tinggi diperoleh dari sampel sampah ikan yaitu 8,54. Menurut Tchobanoglous dan Kreith, 2002 kondisi pH demikian masih memungkinkan untuk tumbuhnya bakteri dan jamur sehingga proses degradasi oleh larva BSF juga dapat berlangsung.

Tingkat keasaman merupakan faktor penting dalam proses degradasi materi organik. Perubahan pH yang terjadi (fluktuasi) menunjukkan adanya aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik (Ismayana *et al.*, 2012). Perubahan pH selama 21 hari dapat dilihat pada lampiran B.

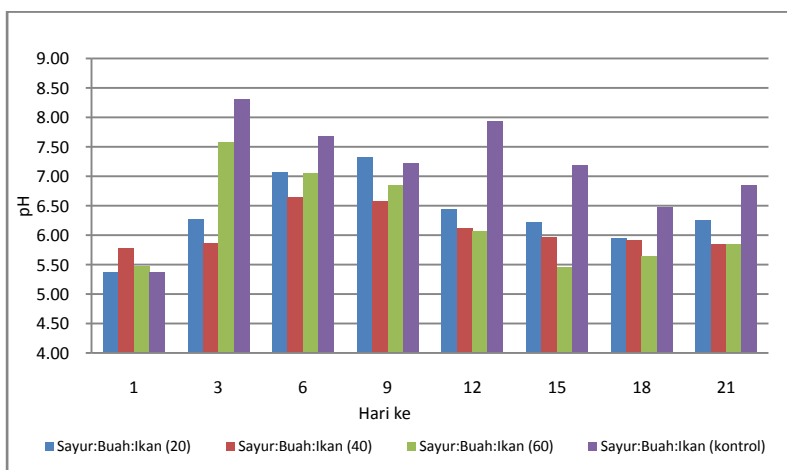
Berdasarkan ke tiga grafik nilai pH, peningkatan nilai pH terjadi mulai pada hari ke-3 hingga hari ke-9 (cenderung turun pada hari ke 12) menunjukkan bahwa perombakan bahan organik senyawa

karbon menjadi asam organik tidak lagi menjadi proses yang dominan dan telah terjadi pembentukan senyawa ammonium yang dapat meningkatkan nilai pH. Sedangkan menurut Meunchang (2005), penurunan nilai pH yang terjadi pada saat proses pendegradasian materi organik disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan asam organik dan reduksi dari ion ammonium.

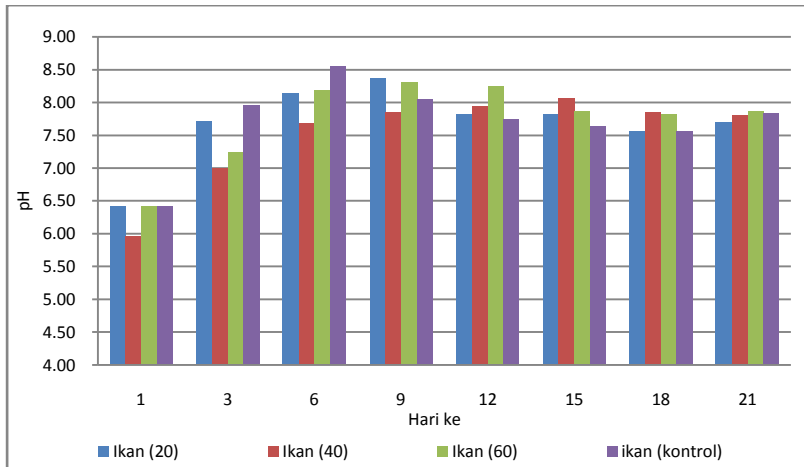
Berdasarkan teori penurunan nilai pH sebanding dengan kadar TKN pada sampel yang menurun. TKN yang terukur 60-70% nya adalah dalam bentuk ammonia dan sisanya adalah dalam bentuk N organik (Metcalf dan Eddy, 2003), yang mana berkurangnya kadar ammonia dalam sampel turut berperan dalam menurunkan nilai pH akhir sampel. Adanya proses pelepasan kandungan protein, peptide, dan asam amino dari proses degradasi juga turut menyebabkan penurunan nilai pH. Deaminasi, yaitu proses asam amino sebagai  $\text{NH}_3$ , akan membentuk ammonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ketika terjadi pelepasan  $\text{NH}_3$  (Gaudy dan Gaudy, 1980). Rendahnya nilai pH dapat terjadi karena kandungan nutrient sampah yang bersifat asam, seperti vitamin C dan tingginya kandungan glukosa pada sampel (USDA, 2014). Kadar glukosa yang tinggi akan memungkinkan masih berlangsungnya proses hidrolisis pada sampah. Di dukung tingginya kadar vitamin C pada buah , dapat menyebabkan turunnya pH.



Gambar 4.7 pH sampel selama 21 hari



Gambar 4.8 pH sampel selama 21 hari



Gambar 4.9 pH sampel kontrol selama 21 hari

#### 4.2.4 Reduksi Sampah

Reduksi sampah diukur berdasarkan berat kering akhir sampah (Diener, 2011). Terlebih dahulu residu sampah dihitung kadar airnya, dari kadar air tersebut di dapat berat kering akhir sampel dan selanjutnya di bandingkan dengan berat kering awal dari total sampel tiap reaktornya. Reduksi sampah yang paling tinggi adalah sampel sayur : buah (20 mg/larva.hari) yaitu 63,9 %, dan yang terendah adalah sampel jeroan ikan (60 mg/larva.hari) yakni 18 %.

Reduksi sampah berbanding lurus dengan pertumbuhan larva BSF pada sampel. Semakin tinggi tingkat pertumbuhan larva maka semakin tinggi tingkat reduksi sampah yang terjadi. Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan Diener *et al.*, 2010 presentasi reduksi sampah pasar:kotoran dengan perbandingan 50:50 dapat mencapai 66% dengan optimal *feeding rate* 167 mg/larva.hari. Lebih tinggi jika dibandingkan reduksi sampah yang dapat dilakukan larva pada sampel sayur buah ikan dengan *feeding rate* 20 mg/larva.hari dengan waktu pemberian makan sekali sehari. Hal ini dikarenakan percobaan



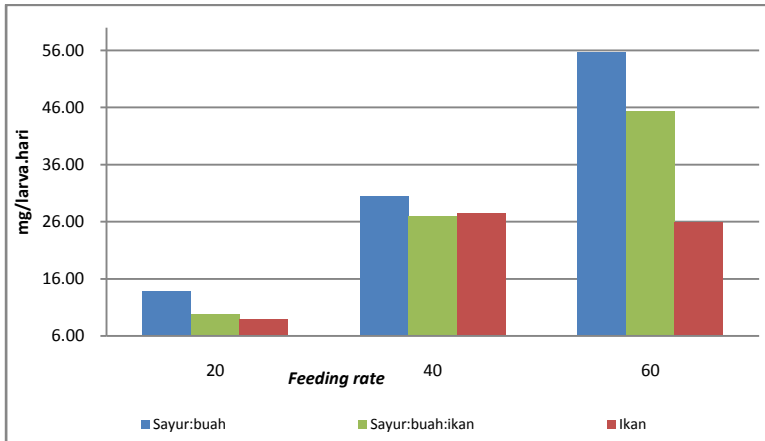
yang dilakukan Diener *et al* pada tahun 2011 tersebut memberikan makanan (sampah pasar) dengan pemberian diawal saja (sekali pemberian) dengan memasukkan sampah pasar sebanyak 20 kg. Tingginya tingkat reduksi dikarenakan pembusukan secara alami membantu peningkatan reduksi sampah. Sedangkan pemberian dengan frekuensi sekali sehari menggunakan sampah segar akan mengurangi kemampuan larva dalam mendegradasi materi organik.

Tabel 4.5 Data Pengukuran Persen Reduksi Sampah

Sampel	Reduksi Sampel %
Sayur:Buah (20mg/larva)	63.90
Sayur:Buah (40mg/larva)	49.07
Sayur:Buah (60mg/larva)	42.75
Ikan (20mg/larva)	54.24
Ikan (40mg/larva)	44.35
Ikan (60mg/larva)	18.87
Sayur:Buah:Ikan (20mg/larva)	55.90
Sayur:Buah:Ikan (40mg/larva)	49.82
Sayur:Buah:Ikan (60mg/larva)	40.48
Sayur:Buah Kontrol	29.28
Ikan Kontrol	33.93
Sayur:Buah:Ikan Kontrol	31.74

*Feeding rate* 60 mg/larva.hari pada tiap jenis komposisi sampel memiliki % reduksi yang paling rendah. Hal tersebut disebabkan sampel sampah yang terlalu banyak dan kadar air yang tinggi menciptakan kondisi yang anaerobik, kondisi tersebut menghambat akses larva ke makanannya sehingga reduksi sampah yang dilakukan larva BSF tidak terlalu signifikan. Proses dekomposisi materi organik pada kondisi anaerobik akan menghasilkan  $\text{NH}_3$  dan gas metan yang juga menghambat proses memakan yang dilakukan oleh larva BSF.

Berdasarkan presentase residu yang diperoleh, dapat ditentukan bahwa porsi makanan larva yang diberikan tidak sesuai dengan kebutuhan larva dikarenakan jumlah residu yang diperoleh. Dari gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa semakin besar *feeding rate* yang dilakukan makan kecenderungan larva mengonsumsi makanannya adalah semakin besar.

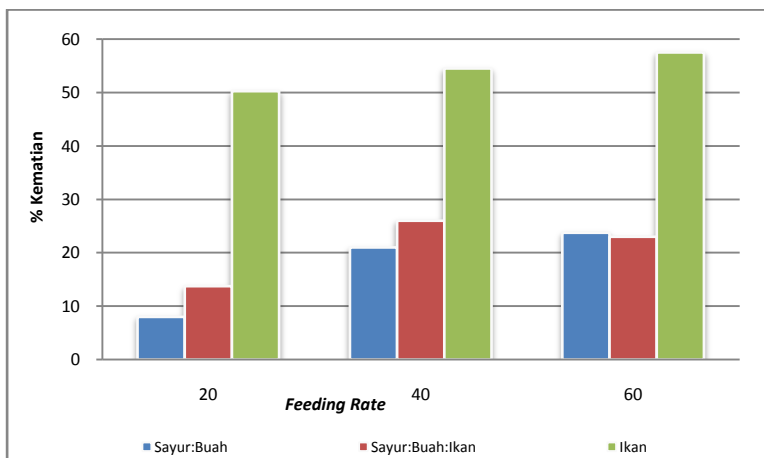


Gambar 4.10 Porsi Makanan Larva/hari

*Feeding rate* 60 mg/larva.hari pada tiap sampel memiliki tingkat kemampuan larva tertinggi dalam mengonsumsi sampah, dan menurun seiring semakin rendahnya *feeding rate* yang dilakukan. Setiap variasi *feeding rate*, sampel sayur:buah memiliki tingkat konsumsi sampah oleh larva yang paling tinggi. Hal tersebut berkaitan banyaknya jenis variasi nutrisi yang terdapat didalam sayur dan buah, dan tidak adanya polutan yang terkandung dalam sampel.

Tingkat reduksi sampah juga dipengaruhi persen kematian larva dalam reaktor. Kematian larva mencapai 50% pada sampel ikan hampir ditiap variasi *feeding rate*. Faktor yang mempengaruhi kematian larva adalah tidak cocoknya makanan yang diberikan, yaitu jeroan ikan. Hal tersebut dibuktikan dengan semakin meningkatnya tingkat kematian pada sampel sayur:buah:ikan. *Feeding rate* 60 mg/larva.hari memiliki tingkat kematian larva yang

lebih tinggi dikarenakan kondisi anaerobik yang diciptakan dari banyaknya sisa sampel sampah dalam reaktor sehingga menciptakan  $\text{NH}_3$  dan gas metan yang menyebabkan kematian larva meningkat.



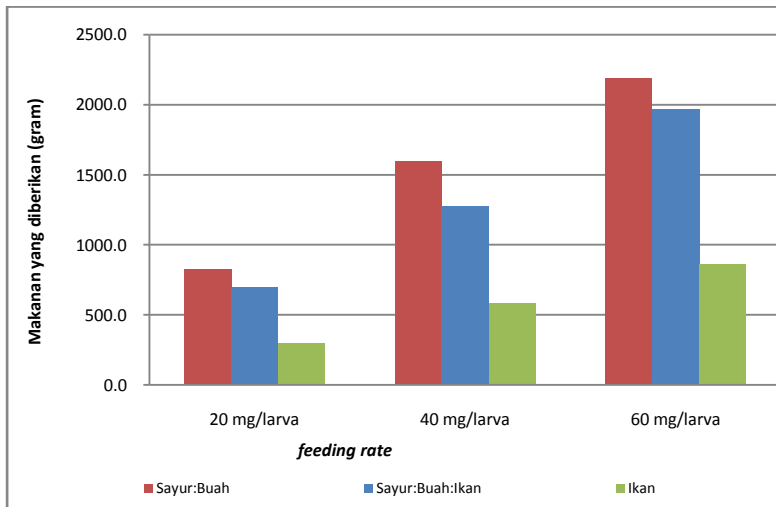
Gambar 4.11 Tingkat Kematian Larva

#### 4.2.5 Pemberian Makan Larva

Pemberian makan larva adalah berdasarkan berat kering masing-masing jenis sampah. Sampah sayur:buah memiliki kadar air paling tinggi dari antara sampel sayur:buah:ikan dan sampel ikan, oleh karena itu *feeding* (berat basah) yang dilakukan juga lebih besar dibandingkan sampel jenis lainnya dengan variasi *feeding rate* yang sama. Pemberian makanan juga didasarkan jumlah larva yang masih bersisa tiap reaktornya. Total pemberian makan larva selama 21 hari sapat dilihat pada Gambar 4.12.

Menurut Newton *et al.*, (2005) larva BSF memakan segala bahan organik yang membusuk termasuk sampah dapur, sampah makanan, dan kotoran. Namun jika dilihat dari hasil reduksi sampah ikan, pertumbuhan atau kemauan memakan larva BSF sangat rendah pada sampel jeroan ikan. Hal tersebut dikarenakan jeroan ikan tidak memiliki kecocokan sebagai makanan larva (palatabilitas). Tingkat konsumsi pakan larva

mencerminkan pendekatan palatabilitas pakan, yaitu keinginan dan kesukaan larva terhadap suatu pakan. Adanya ketidakcocokan pakan terhadap larva membuat pertumbuhan larva pada sampel jeroan ikan terhambat. Selain palatabilitas, pemberian pakan tidak efisien, pakan yang diberikan terlalu banyak dibanding pakan yang dimakan dapat mempengaruhi pertumbuhan larva.



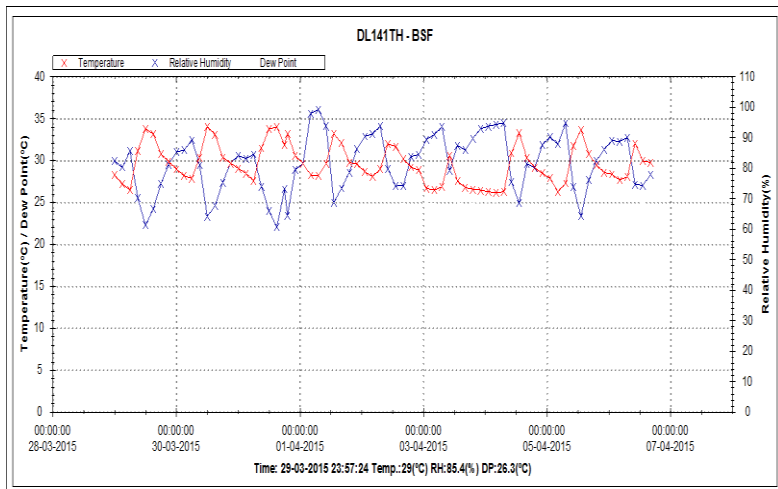
Gambar 4.12 Total Pemberian Makan Larva

#### 4.2.6 Suhu dan Kelembaban Udara Lokasi Pelaksanaan

Pengukuran suhu dan kelembaban udara dilakukan untuk mengetahui apakah kondisi lokasi penelitian cocok untuk perkembangbiakan larva BSF. Pengukuran suhu dan kelembaban udara dilakukan dengan Higrometer. Prinsip kerja higrometer adalah merekam secara otomatis data suhu dan kelembaban udara lokasi penelitian. Pengukuran dan perekaman data diatur setiap tiga jam sekali.

Dari data rekaman yang diperoleh didapat suhu paling rendah di lokasi penelitian yakni 26,2 °C dan suhu tertinggi 34,6 °C.

menurut Popa dan Green, 2012 kondisi yang paling baik untuk perkembangbiakan larva adalah 28-35°C. Sedangkan untuk kelembaban diperoleh data dari rentang 59,3-99,3 % kelembaban. Hasil pengukuran menunjukkan kondisi *workshop* Teknik Lingkungan merupakan lokasi yang cocok untuk perkembangbiakan larva BSF yakni kelembaban 60-70 % (Popa dan Green, 2012).



Gambar 4.13 Suhu dan Kelembaban Lokasi Penelitian

## 4.2.7 Hasil Dekomposisi C/N Residu Sampah

### 4.2.7.1 Kadar C-organik dan N total organik awal sampel

Untuk mendapatkan hasil dekomposisi sampah yang dapat dilakukan oleh larva BSF maka perlu dianalisis kadar C organik dan total N organik sampel sampah. Pengukuran C organik sampel menggunakan metode gravimetri dan pengukuran total N organik yang terdiri dari ammonia menggunakan metode Kjeldahl, dan nitrat menggunakan metode spektrofotometri.

Pengukuran C dan N dilakukan untuk mengetahui rasio C/N sampah. Rasio C/N digunakan sebagai indikator kualitas bahan organik yang akan digunakan sebagai kompos. Proses

pendegradasian membutuhkan karbon organik (C) untuk pemenuhan energi dan pertumbuhan, dan nitrogen (N) untuk pemenuhan protein sebagai zat pembangun sel metabolisme. Larva mengkonversi N menjadi protein yang hampir 50% tubuhnya tersusun atas protein, dan memecah senyawa C sebagai sumber energi (Ismayana *et al.*, 2012). Apabila nilai C/N terlalu tinggi, organisme akan kekurangan N untuk sintesis protein sehingga proses dekomposisi berjalan lambat (Isroi, 2008). Perbandingan rasio C/N yang terlalu rendah juga akan menyebabkan terbentuknya gas amoniak, sehingga nitrogen mudah menguap (Harada *et al.*, 1993).

Tabel 4.6 Data Pengukuran Kadar C/N Awal Sampel

Sampel	% N	% C	C/N
Sayur:Buah (20)	1.57	44.65	28.44
Sayur:Buah (40)	2.45	51.59	21.07
Sayur:Buah (60)	1.63	49.08	30.11
Ikan	1.25	50.97	40.90
Sayur:Buah:Ikan (20)	2.17	50.71	23.35
Sayur:Buah:Ikan (40)	1.48	51.51	34.76
Sayur:Buah:Ikan (60)	2.25	51.76	23.01

Berdasarkan data kandungan C organik sampel sampah diperoleh kandungan C organik paling tinggi adalah sampel Sayur:Buah:Ikan (60 mg/larva.hari) yakni 51,76 % dari berat kering. Hal tersebut sesuai dengan kandungan C organik sampah pasar untuk sampah sayuran dan sampah ikan yakni berkisar antara 48,5 – 59,5 % (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

#### 4.2.7.2 Hasil Dekomposisi Sampah oleh Larva BSF

Kandungan nitrogen pada sampel sampah digunakan organisme untuk pemenuhan protein sebagai zat pembangun sel metabolisme. Kandungan nitrogen tertinggi berdasarkan Tabel 4.6 adalah sampel sayur:buah dengan *feeding rate* 40

mg/larva.hari. Kandungan nitrogen yang tinggi akan menyebabkan rasio C/N sampel menurun. Menurut Wang *et al.*, 2013 hasil dekomposisi sampah organik yang dilalukan larva BSF memiliki rasio C/N sekitar 24, dengan rasio C/N awalnya 11 hingga 18 untuk sampah organik.

Berdasarkan data yang diperoleh terjadi penurunan kadar N, rata-rata terjadi penurunan kadar N total organik dengan presentasi penuruan tertinggi hingga 68 % pada sampel sayur:buah (40 mg/larva.hari). Penurunan N terjadi karena adanya aktivitas biologis pada sampel, dimana larva BSF menggunakan nitrogen untuk proses metabolisme tubuh larva, sehingga terjadi pengurangan kadar nitrogen. Rendahnya kadar N membuat rasio C/N sampah residunya meningkat. Diantara 9 sampel, 3 sampel mengalami peningkatan rasio C/N, yakni sampel sayur:buah (40 mg/larva.hari), ikan (40 mg/larva.hari), dan sayur:buah:ikan (20 mg/larva.hari).Adanya proses degradasi sampah oleh BSF dan juga mikroorganisme yang terdapat di dalam masing-masing sampel sebagai sumber energi menyebabkan terjadinya kenaikan rasio C/N sampel (Selintung *et al.*, 2013).

*Feeding rate* 60 mg/larva.hari memiliki kadar N organik yang paling tinggi dibandingkan *feeding rate* 20 mg/larva.hari dan 40 mg/larva.hari di setiap jenis sampel sampah . Hal tersebut diakibatkan adanya pembentukan gas ammonia di dalam sampel yang terjadi pada saat proses degradasi protein sampah oleh larva (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Aktifitas larva BSF dan bakteri di dalam sampel turut menurunkan kadar N yang dikonversikan menjadi biomassa (Diener *et al.*, 2011). Pemanfaatan larva BSF diketahui dapat mereduksi hingga 55% kadar nitrogen dari kotoran sapi (Newton *et al.*, 2005).

Tabel 4.7 Data Pengukuran Rasio C/N Residu

Sampel	%N	% C	C/N
Sayur:Buah (20)	2.06	44.26	21.50
Sayur:Buah (40)	1.05	44.72	42.56
Sayur:Buah (60)	2.18	44.91	20.63

Tabel4.7 Lanjutan

Sampel	%N	% C	C/N
Ikan (20)	1.26	45.40	36.05
Ikan (40)	1.11	45.01	40.53
Ikan (60)	1.73	45.45	26.30
Sayur:Buah:Ikan (20)	1.42	43.82	30.96
Sayur:Buah:Ikan (40)	1.32	43.79	33.07
Sayur:Buah:Ikan (60)	2.11	45.20	21.44
Sayur:Buah (kontrol)	1.25	43.04	34.54
Sayur:Buah:Ikan (kontrol)	1.07	43.54	40.79
ikan (kontrol)	1.18	44.19	37.33

Adanya kandungan protein pada sampel juga mempengaruhi peningkatan kandungan N pada sampel. Asam amino adalah unit strukturan dari protein (Tan, 1991). Protein dengan bantuan bakteri heterofik akan dikonversi menjadi ammonia (Sawyer *et al.*, 1994). Sehingga, semakin tinggi kandungan protein pada sampel akan semakin tinggi kandungan N total. Berdasarkan kandungan protein masing-masing sampel, sampel ikan memiliki kandungan protein paling tinggi. Namun jika dilihat hasil akhirnya kandungan N total paling tinggi adalah pada sayur:buah:ikan. Adanya ketidaksesuain dapat terjadi dikarenakan kesalahan dalam analisis N total. Kesalahan juga dapat terjadi akibat sampel yang disimpan terlalu lama yang dapat mempengaruhi kadar N total.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan Penelitian

Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan :

1. Persentase reduksi yang didapat dalam mendekomposisi sampah organik pasar oleh larva BSF diperoleh kombinasi sampah sayur:buah memiliki tingkat reduksi paling tinggi dengan rata-rata 51,91% reduksi, selanjutnya kombinasi sampah sayur:buah:ikan dengan tingkat reduksi 48,73%, dan dengan tingkat reduksi paling kecil adalah sampah jeroan ikan yakni 39,16%.
2. Berdasarkan hasil penelitian pertumbuhan larva paling optimal diperoleh pada komposisi sampah sayur:buah dengan *feeding rate* 60 mg/larva.hari yakni laju pertumbuhan larva rata-rata dua kali lipat tiap harinya. Pertumbuhan larva paling rendah terjadi pada sampel jeroan ikan. Semakin kecil *feeding rate* yang dilakukan semakin kecil tingkat pertumbuhan larva
3. Hasil dekomposisi sampah menunjukkan sebagian besar rasio C/N naik disebabkan penurunan kadar N total organik residu sampah. Pada 3 sampel meningkat yakni sayur:buah (40 mg/larva/hari), ikan (20 mg/larva.hari), dan sayur:buah:ikan (20 mg/larva.hari) dikarenakan kadar N yang menurun pada sampel. Rasio C/N paling tinggi adalah 42,56 yaitu sampel sayur:buah (40 mg/larva.hari), dan rasio N paling rendah adalah 21,44 pada sampah sayur:buah:ikan (60 mg/larva.hari).

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang diajukan berdasarkan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya kajian kembali terhadap *feeding rate* yang diberikan pada larva. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan rata-rata *optimal feeding rate* untuk kombinasi

sampah sayur:buah adalah 34 mg/larva.hari, untuk kombinasi sampah sayur:buah:ikan adalah 27,32 mg/larva.hari, dan untuk sampah jeroan ikan adalah 20,74 mg/larva.hari.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai tingkat toxic yang terdapat pada jeroan ikan terhadap tingkat kematian larva BSF yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, L. 2012. A Disertation: *The Role of Black Soldier Fly, Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae) in Sustainable Management in Northern Climates*. University of Windsor. Ontario, Kanada.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2010. *Evolusi Teknologi Pengolahan Sampah* (<http://www.enviro.bppt.go.id/Berita/Data/25052010.htm>, diakses pada 16 Januari 2015, Pukul 10.23 WIB).
- Booth, D.C and Sheppard, D.C. 1984. Oviposition of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): eggs, masses, timing and site characteristics, *Environ. Entomol.*, 13, 421-3
- Budianta, D., Marsi., Marwantinah. 2003. Manfaat Kompos Untuk Meremediasi Logam Berat Kadmium Dalam Tanah. *Pengolahan Lingkungan dan SDA*. Vol 1 (2) :93-104.
- Bullock, N., Chapin, E., Evans, A., Elder, B., Givens, M., Jeffay, N., Pierce, B., Robinson, W. 2013. *The Black Soldier Fly How-to-Guide*. ENST 698-Environmental Capstone.
- Chu, H.F., Cutkomp, L.K. 1992. *How to Know The Immature Insects*. Dubuque: Wm. C. Brown Communications, Inc.
- Damanhuri, E. 1994. *Diktat Kuliah Pengelolaan Limbah B3 TL-352*, Teknik Lingkungan ITB, Edisi Semester II 1993/1994. Penerbit ITB, Bandung.
- Damanhuri, E. 2001. Pembahasan tentang Pedoman Pengelolaan Sampah, Workshop Pembahasan Rancangan Keputusan Menteri Negara Pekerjaan Umum 10-8-2001 di Jakarta
- Damanhuri, E., Handoko, W., Padmi, T. 2010. *Municipal Solid Waste Management in Indonesia*, in *Municipal Solid Waste Management in Asia and the Pacific Islands* - Editors: Agamuthu P, Masaru Tanaka. Penerbit ITB, Bandung.
- Diener, S. 2010. A Disertation: *Valorisation of Organic Solid Waste using the Black Soldier Fly, Hermetia illucens*,

- in Low and Middle-Income Countries. ETH Zurich. Swiss.
- Diener, S., Solano, N.M.S., Gutiérrez, F.R., Zurbrügg, C., Tockner, K. 2011. Biological Treatment of Municipal Organic Waste using Black Soldier Fly Larvae. *Waste Biomass Valor*, 2 : 357-363.
- Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F.R., Nguyen, D.H., Morel, A., Koottatep, T., Tockner, K. 2011. Black Soldier Fly Larvae for Organic Waste Treatment-Prospects and Constraints. Rangkuman 'WasteSafe 2011-2<sup>nd</sup> International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries'. Khulna-Bangladesh, 13-15 Februari 2011. M. Alangir, Q.H. Bari, I.M. Rafizul, S.M.T. Islam, G. Sarkar, M.K. Howlader (eds).
- Ducharme, M.K, Licklider, B.L., Matthews, W.A., Vannata, R.A. 1995. The Fine Foundation's Conceptual and Analysis Criteria: A Process for Identifying Quality Educational Research. *Fine Foundation*. Des Moines, IA.
- Fahmi, M.R., Hem, S., Subamia, I.W. 2007. Potensi Mangot Sebagai Salah Satu Sumber Protein Pakan Ikan. Seminar Nasional Hari Pangan Sedunia XXVII.
- Furman, D.P., R.D. Young, and E.P. Catts, 1959. *Hermetia Illucens* (Linnaeus) as a Factor in the Natural Control of *Musca Domestica* Linnaeus. *Journal of Economic Entomology*. 52.5: 917–921.
- Gaudy, A.F.Jr., and Gaudy, E.T. 1980. *Microbiology for Environmental Scientists and Engineers*. McGraw-Hill. New York.
- Hem, S. 2011. Final Report: Maggot – Bioconversion Research Program in Indonesia, Concept of New Food Resources Result and Applications 2005-2011. Institut de Recherche pour le Développement. Perancis.
- Holmes, L.A., Vanlaerhoven, S.L., Tomberlin, J.K. 2012. Relative Humidity Effects on the Life History of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*. 41(4):971-978.

- Ismayana, A., Indrasti, N. S., Suprihatin., Maddu, A., dan Fredy, A. 2012. Faktor Rasio C/N Awal dan Laju Aerasi pada Proses C0-Composting Baggase dan Blotong. *Jurnal Teknologi Industri*. (3): 173-170.
- Kim, W., Bae, S., Park, K., Lee, S., Choi, Y., Han, S., Koh, Y. 2011. Biochemical Characterization of Digestive Enzymes in the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Jurnal of Asia-Pasific Entomology*. 14:11-14.
- Kusnadi., Syulasmii, A., Adisendjaja, Y.H. 2009. Laporan Penelitian Strategis Nasional Tahun Anggaran 2009 (Energi Terbarukan): 'Pemanfaatan Sampah Organik Sebagai Bahan Baku Produksi Bioetanol Sebagai Energi Alternatif'. Jurusan Pendidikan Biologi Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Lakitan, B. 1993. Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Metcalf dan Eddy. 2003. Waste Engineering: Treatment, Disposal, and reuse. McGraw-Hill, Inc.: New York.
- NCIPMI. 1998. Insect and related pests of man and animals. *North Carolina Integrated Pest Management Information*. ([http://ipm.ncsu.edu/AG369/notes/black\\_soldier\\_fly.html](http://ipm.ncsu.edu/AG369/notes/black_soldier_fly.html), diakses tanggal 15 Januari 2015, Pukul 21.11 WIB).
- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D.W., Burtle, G., Dove, R. 2005. Using the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* as a Value-added Tool for the Management of Swine Manure. Waste Management Programs. North Carolina State University.
- Popa, R. dan Green, T. 2012. DipTerra LCC e-Book 'Biology and Ecology of the Black Soldier Fly'. DipTerra LCC.
- Popa, R. dan Green, T. 2012. DipTerra LCC e-Book 'Black Soldier Fly Applications'. DipTerra LCC.
- Puspaagrojatim.com. 2015. Diakses tanggal 19 Januari 2015, Pukul 11.37 WIB.

- Rachmawati. 2010. Sejarah Kehidupan *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada Bungkil Kelapa Sawit [Tesis]. Bogor: Sekola Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor
- Rynk, R., Kamp, M.v.d, Wilson, G.B., Singley, M.E., Richard, T.L., Kolega., J.J., Gouin, F.R., Laliberty, L., Kay, D., Murphy, D.W., Hoitink, H.A., Brinton, W.F. 1992. On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service. New York, Amerika Serikat.
- Selintung, M., Zubair' A., Anneke, E. T. 2013. Studi Karakteristik Sampah Pada Tempat Pembuangan Akhir Di Kabupaten Maros. *Skripsi*. Universitas Hasanudin. Makassar.
- Sheppard DC, Thomberlin JK, Joyce JA, Kiser BC, Sumner SM. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *J Med Entomol* 39: 695-698.
- Sheppard. C.D., Newton, G.L., Thompson, S.A., Savage, S. 1994. A Value Added Manure Management System Using the Black Soldier Fly. *Bioresource Technology*. 50: 275-279.
- Sipayung, P.Y.E. 2015. Pemanfaatan Larva Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Sebagai Salah Satu Upaya Reduksi Sampah Daerah Perkotaan. Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- Sulistyawati, E., Mashita, N., Choesin, D.N. 2008. Pengaruh Agen Dekomposer Terhadap Kualitas Hasil Pengomposan Sampah Organik Rumah Tangga. Makalah Presentasi pada Seminar Nasional Penelitian Lingkungan di Perguruan Tinggi, Universitas Trisakti Jakarta, 7 Agustus 2008.
- Sumardiono et al., 2011.
- Sutanto, R. 2002. Penerapan Pertanian Organik: Pemasarakatan dan Pengembangannya. Kanisius. Jakarta.

- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. 1993. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. Mc Graw-Hill, Inc.Singapura.
- UU nomor 18 tahun 2008
- Wilson, D.G (Editor).1977. Handbook of Solid Waste Management. Van Nostrand Reinhold Company.
- Žáková, M.dan Borkovcová, M. 2013. *Hermetia illucens* Application in Management of Selected Types of Organic Waste. Rangkuman 'The 2<sup>nd</sup> Electronics International Interdisciplinary Conference', 2-6 September 2013, hal. 367-370.
- Zhang, J., Huang, L., He, J., Tomberlin, J.K, Li, J., Lei, C., Sun, M., Liu, Z., dan Yu, Z. 2010. An Artificial Light Source Influences Mating and Oviposition of Black Soldier Flies, *Hermetia illucens*. Journal of Insect Science, 10:202



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN A PROSEDUR PENELITIAN

### Analisis Total NitrogeN

*Analisis TKN- metode Kjeldahl*

#### a. Peralatan dan bahan

##### Alat:

- Neraca Analitik
- Alat uji Kjeldahl
- Erlemeyer 250 mL
- Buret
- Pipet tetes

##### Bahan:

- Digestion reagen:  
134 g  $K_2SO_4$  ditambah 7.3 g  $CuSO_4$  dilarutkan dengan aquades hingga 800 mL, kemudian ditambahkan dengan 134 mL  $H_2SO_4$  pekat dan diencerkan hingga 1000 mL
- Larutan absorban: Asam borat  
20 g  $H_3BO_3$  diencerkan hingga 1000 mL
- Larutan borate buffer  
9.5 g  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  dilarutkan dengan aquades hingga volume 500 mL, kemudian ditambahkan 88 mL NaOH 0.1 N dan diencerkan hingga volume 1000 mL
- Larutan *Sodium hydroxide-sodium thiosulfate*  
Larutkan 500 g NaOH dan 25 mg  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$
- Larutan NaOH 6 N
- Indikator PP 1%
- Larutan titran standar  $H_2SO_4$  0.02 N
- Batu didih
- Indikator titrasi:  
200 mg metil merah yang dilarutkan ke dalam 100 mL isoprophil alkohol dicampur dengan 100 mg metil biru yang dilarutkan dengan 50 mL isoprophil alcohol

b. Prosedur kerja analisis:

Destruksi sampel

- 1) Timbang 5 g sampel dengan neraca analitis.
- 2) Masukkan ke dalam tabung kjeldahl.
- 3) Tambahkan aquades hingga 300 mL, tambahkan 50 mL digestion reagen dan lakukan pemanasan hingga tersisa larutan 25-50 mL di dalam labu Kjeldahl. Hentikan proses destruksi dan biarkan beberapa saat hingga suhunya turun.

Destilasi

- 1) Tambahkan aquades ke dalam labu Kjeldahl berisi hasil destruksi hingga volume 300 mL. Lalu tambahkan 50 mL larutan *Natrium hydroxide-sodium thiosulfate* dan pasang ke alat destilasi Kjeldahl. Masukkan 50 mL larutan asam borat ke dalam gelas Erlenmeyer 250 mL dan tempatkan pada alat penampung destilat. Atur waktu destilasi dan lakukan proses destilasi.
- 2) Destilat yang teradsorb pada larutan asam borat ditentukan konsentrasinya dengan cara titrasi.

$$\frac{N_{\text{organik + amonia}}}{\text{Vol titrasi}} = \frac{\text{Vol sampel}}{\text{Vol sampel}} \times 1000 \times 14 \times N_{\text{titran}} \times f_k$$

Dengan:

$f_k$  = faktor pengenceran

*Analisis nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) – metode spektrofotometri*

a. Peralatan dan bahan

Alat:

- Erlenmeyer 25 mL
- Pipet volumetric 10 mL

Bahan:

- Larutan brucin asetat 5 %
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat

b. Prosedur kerja analisis:

- 1) Larutkan 0.1 g sampel kering dengan aquades hingga volume 20 mL.
- 2) Ambil 2 mL larutan sampel kemudian tambahkan dengan 2 mL brucin asetat
- 3) Tambahkan 4 mL larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, diamkan selama kurang lebih 10 menit
- 4) Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang ( $\lambda = 400 \text{ nm}$ )

*Analisis nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) – metode spektrofotometri*

a. Peralatan dan bahan

Alat:

- Labu erlemeyer 25 mL
- Pipet volumetric 10 mL

Bahan:

- Larutan NED
- Larutan *sulfanilic acid*

b. Prosedur kerja analisis:

- 1) Larutkan 0.1 g sampel kering dengan aquades hingga volume 20 mL.
- 2) Siapkan 25 mL sampel kemudian tambahkan aquades hingga volume 25 mL
- 3) Tambahkan 0.5 mL larutan *sulfanilic acid*, kocok, dan diamkan selama kurang lebih 2 menit
- 4) Tambahkan 0.5 mL larutan NED, diamkan 10 menit-2 jam
- 5) Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang ( $\lambda = 540 \text{ nm}$ )

## Analisis C-organik (Metode Gravimetri)

### a. Peralatan dan bahan:

#### Alat

- cawan porselen
- oven
- furnace
- desikator
- spatula
- neraca analitis

#### Bahan

- sampel

### b. Prosedur kerja analisis:

- 1) Siapkan cawan porselen yang sudah dikeringkan di oven selama +/- 1 jam, kemudian dinginkan di dalam desikator.
- 2) Timbang cawan porselen kosong dengan menggunakan neraca analitis, catat hasil pembacaanya (a).
- 3) Tambahkan sampel ke dalam cawan kosong, kemudian timbang dan catat hasil pembacaanya (b).
- 4) Keringkan pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Dinginkan di dalam desikator, kemudian timbang dengan neraca analisis dan catat hasil pembacaanya (c).
- 5) Masukkan ke dalam furnace dan dilakukan pembakaran pada suhu 550°C selama 1 jam.
- 6) Masukkan ke dalam oven selama 15 menit dan ke dalam desikator selama 15 menit untuk menurunkan suhunya. Timbang dengan neraca analisis dan catat hasil pembacaanya (d).
- 7) Hitung kadar C-organik dengan rumus:

$$C_{organik} = \frac{1}{1.8} \times VOC$$

Dimana:

VOC = Berat kering – berat *ash*

Berat kering = c – b

Berat *ash* = d – b

### **Analisis Kadar Air**

**a. Peralatan:**

- |                    |               |
|--------------------|---------------|
| 1) Neraca analitik | 3) Oven 105°C |
| 2) Cawan porselen  | 4) Desikator  |

**b. Prosedur kerja analisis:**

- 1) Siapkan cawan porselen yang sudah dikeringkan di oven selama +/- 1 jam, kemudian dinginkan di dalam desikator.
- 2) Timbang cawan porselen kosong dengan menggunakan neraca analitis, catat hasil pembacaannya (a).
- 3) Tambahkan sampel ke dalam cawan kosong, kemudian timbang dan catat hasil pembacaannya (b).  
Keringkan pada oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Dinginkan di dalam desikator, kemudian timbang dengan neraca analisis dan catat hasil pembacaannya (c).
- 4) Hitung kadar air sampah dengan rumus:

$$\%air = \frac{(b-a)-(c-a)}{(b-a)} \times 100\%$$

Dimana :

a = berat awal cawan kosong

b = berat awal cawan kosong + sampel

c = berat cawan + sampel setelah dioven

## Analisis pH

### a. Peralatan dan bahan:

#### Alat

- pH meter
- labu erlenmeyer 100 mL
- magnetic stirrer
- neraca analitis
- spatula

#### Bahan

- sampel
- aquades

### b. Prosedur kerja analisis

- 1) Timbang sampel sebanyak 10 gr dengan neraca analitis, lalu masukkan ke dalam tabung erlenmeyer 100 mL.
- 2) Tambahkan 50 mL aquadest.
- 3) Aduk dengan *magnetic stirrer* selama 10 menit.
- 4) Tuangkan larutan ke dalam gelas ukur 50 mL, biarkan kompos yang tidak terlarut di dalam gelas Erlenmeyer.
- 5) Ukur dan catat hasil pembacaan pH meter.

## LAMPIRAN B

### DATA HASIL ANALISIS

#### 1. Kadar Air Sampel

- Kadar Air Sampah Pasar

Jenis Sampah	Kadar Air %
Daun Kembang Kol	90.02
sawi hijau	92.70
pisang	80.98
alpukat	87.13
selada	93.92
ikan	72.18
nenas	89.55

- Kadar Air Awal Komposisi Sampah

Sampel	Kadar Air %
Sayur:Buah (20mg/larva)	90.91
Sayur:Buah (40mg/larva)	89.89
Sayur:Buah (60mg/larva)	89.28
Jeroan Ikan	72.18
Sayur:Buah: Jeroan Ikan (20mg/larva)	87.71
Sayur:Buah: Jeroan Ikan (40mg/larva)	88.20
Sayur:Buah: Jeroan Ikan (60mg/larva)	89.01



2. Jumlah Makanan Yang diberikan Untuk 200 ekor larva berdasarkan berat basah

Sumber sampah	Feeding rate (mg/larva.hari)	Berat basah (gram)						
		Daun kembang kol	Selada	Sawi hijau	Alpukat	Pisang	Nenas	Ikan
Sayur:buah (50:50)	20	6.68	10.97	9.13	5.18	3.50	6.38	
	40	13.36	21.94	18.26	10.36	7.01	12.76	
	60	20.05	32.91	27.39	15.54	10.51	19.14	
ikan	20							14.38
	40							28.76
	60							43.14
Sayur:buah:ikan (40:35:25)	20	5.35	8.78	7.30	3.63	2.45	4.47	3.60
	40	10.69	17.55	14.61	7.25	4.91	8.93	7.19
	60	16.04	26.33	21.91	10.88	7.36	13.40	10.79

### 3. Pertumbuhan Larva

Larva	Berat Larva Hari Ke (gram)							
	1	3	6	9	12	15	18	21
Sayur:Buah (20)	0.004	0.038	0.112	0.177	0.190	0.270	0.295	0.257
Sayur:Buah (40)	0.003	0.048	0.162	0.232	0.269	0.292	0.414	0.408
Sayur:Buah (60)	0.005	0.065	0.174	0.241	0.290	0.312	0.444	0.511
Ikan (20)	0.003	0.020	0.068	0.086	0.118	0.139	0.175	0.168
Ikan (40)	0.003	0.017	0.062	0.094	0.139	0.160	0.197	0.200
Ikan (60)	0.005	0.027	0.085	0.100	0.157	0.220	0.254	0.247
Sayur:Buah:Ikan (20)	0.004	0.043	0.116	0.148	0.241	0.271	0.285	0.283
Sayur:Buah:Ikan (40)	0.004	0.051	0.157	0.248	0.297	0.327	0.362	0.409
Sayur:Buah:Ikan (60)	0.004	0.058	0.200	0.301	0.285	0.309	0.281	0.325

#### 4. pH Reaktor

Larva	pH Larva Hari Ke							
	1	3	6	9	12	15	18	21
Sayur:Buah (20)	5.46	6.50	7.19	6.97	6.94	6.19	5.94	5.91
Sayur:Buah (40)	5.49	6.18	6.69	6.60	5.79	5.60	5.56	5.67
Sayur:Buah (60)	5.39	5.04	7.54	6.59	5.41	5.53	5.53	5.73
Ikan (20)	6.41	7.71	8.13	8.37	7.82	7.82	7.56	7.69
Ikan (40)	5.95	7.00	7.68	7.86	7.94	8.06	7.85	7.80
Ikan (60)	6.41	7.24	8.19	8.31	8.25	7.87	7.82	7.87
Sayur:Buah:Ikan (20)	5.36	6.27	7.07	7.33	6.44	6.23	5.95	6.25
Sayur:Buah:Ikan (40)	5.77	5.86	6.65	6.57	6.11	5.96	5.91	5.84
Sayur:Buah:Ikan (60)	5.97	5.50	7.46	6.15	5.73	5.72	5.83	5.90
Sayur:Buah (kontrol)	5.46	7.57	7.05	6.85	6.07	5.45	5.65	5.84
Sayur:Buah:Ikan (kontrol)	5.36	8.30	7.67	7.21	7.93	7.18	6.48	6.84
ikan (kontrol)	6.41	7.96	8.54	8.04	7.74	7.63	7.55	7.83

## 5. Data Berat Sampah Awal dan Akhir

No	Larva	berat awal	berat akhir	b.kering awal	b. kering akhir	SELISIH	% REDUKSI
1	sayur:buah:ikan (20)	695.3	500.4	85.5	34.9	50.6	59.2
2	ikan (20)	302.5	184.0	84.1	41.8	42.3	50.3
3	ikan (40)	570.9	404.1	158.8	81.1	77.7	49.0
4	sayur:buah (40)	1606.7	1417.6	162.5	84.9	77.6	47.8
5	sayur:buah (20)	837.0	629.8	96.5	31.6	64.9	67.2
6	sayur:buah:ikan (40)	1414.6	1217.9	166.9	89.1	77.8	46.6
A	ikan (60)	854.2	796.3	237.6	183.8	53.8	22.7
B	sayur:buah (60)	2354.6	2127.9	252.4	153.6	98.9	39.2
C	sayur:buah (20)	809.8	628.3	93.4	36.8	56.6	60.6
D	sayur:buah (60)	2023.4	1748.7	216.9	116.4	100.5	46.3
E	ikan (20)	293.1	149.0	81.5	34.1	47.5	58.2
F	ikan (60)	875.8	880.0	243.6	206.8	36.8	15.1
G	sayur:buah (40)	1586.0	1242.0	160.4	79.6	80.8	50.4
H	ikan (40)	591.0	457.0	164.4	99.1	65.3	39.7
I	sayur:buah:ikan (20)	694.2	539.4	85.3	40.4	44.9	52.6

Lanjutan.

Toples	Larva	berat awal	berat akhir	b.kering awal	b. kering akhir	SELISIH	% REDUKSI
J	sayur:buah:ikan (60)	2134.9	1909.1	234.6	142.2	92.5	39.4
K	sayur:buah:ikan (60)	1805.9	1573.4	198.5	116.0	82.5	41.5
L	sayur:buah:ikan (40)	1143.5	953.7	134.9	63.4	71.5	53.0
Kontrol	Sayur:buah	724.0	761.5	83.5	59.0	24.4	29.3
kontrol	Sayur:buah:ikan	615.8	560.0	75.7	50.0	25.7	33.9
Kontrol	ikan	248.8	190.0	69.2	47.2	22.0	31.7

#### 6. C/TKN Awal

Sampel	% TKN	% C	C/N
Sayur:Buah (20)	1.11	44.65	40.38
Sayur:Buah (40)	1.01	51.59	51.08
Sayur:Buah (60)	0.97	49.08	50.39
Ikan	1.15	50.97	44.24
Sayur:Buah:Ikan (20)	1.90	50.71	26.70
Sayur:Buah:Ikan (40)	1.47	51.51	35.11
Sayur:Buah:Ikan (60)	1.41	51.76	36.76

7. C/N TKN Akhir

Sampel	% TKN	% C	C/N
Sayur:Buah (20)	2.04	44.26	21.66
Sayur:Buah (40)	1.02	44.72	44.00
Sayur:Buah (60)	2.02	44.91	22.25
Ikan (20)	1.21	45.40	37.59
Ikan (40)	1.09	45.01	41.15
Ikan (60)	1.57	45.45	28.96
Sayur:Buah:Ikan (20)	1.32	43.82	33.27
Sayur:Buah:Ikan (40)	1.31	43.79	33.47
Sayur:Buah:Ikan (60)	2.04	45.20	22.15
Sayur:Buah (kontrol)	1.21	43.04	35.46
Sayur:Buah:Ikan (kontrol)	1.03	43.54	42.31
ikan (kontrol)	1.11	44.19	39.70

## 8. Analisis Nitrat Awal dan Akhir

Nitrat Awal	% Nitrat
Sayur:Buah (20)	0.464
Sayur:Buah (40)	1.439
Sayur:Buah (60)	0.656
Ikan	0.094
Sayur:Buah:Ikan (20)	0.272
Sayur:Buah:Ikan (40)	0.015
Sayur:Buah:Ikan (60)	0.842

Sampel Akhir	% Nitrat
Sayur:Buah (20)	0.02
Sayur:Buah (40)	0.03
Sayur:Buah (60)	0.16
Ikan (20)	0.05
Ikan (40)	0.02
Ikan (60)	0.16
Sayur:Buah:Ikan (20)	0.10
Sayur:Buah:Ikan (40)	0.02
Sayur:Buah:Ikan (60)	0.07
Sayur:Buah (kontrol)	0.03
Sayur:Buah:Ikan (kontrol)	0.04
ikan (kontrol)	0.07

### 9. Jumlah Prepupa

Larva	Jumlah Prepupa Larva Hari Ke (gr)							
	1	3	6	9	12	15	18	21
Sayur:Buah (20)	0	0	0	6	14	37	38	35
Sayur:Buah (40)	0	0	0	10	21	23	30	16
Sayur:Buah (60)	0	0	0	11	31	42	41	14
Sayur:Buah:Ikan (20)	0	0	0	6	18	25	21	50
Sayur:Buah:Ikan (40)	0	0	0	8	28	33	34	22
Sayur:Buah:Ikan (60)	0	0	0	14	29	37	35	21
Ikan (20)	0	0	0	0	0	3	9	19
Ikan (40)	0	0	0	0	2	6	13	22
Ikan (60)	0	0	0	0	5	9	16	19



**LAMPIRAN C**  
**DOKUMENTASI PENELITIAN**



Gambar 1. Sampah Alpukat



Gambar 2. Sampah Nenas



Gambar 3. Jeroan Ikan



Gambar 4. Sampah pisang



Gambar 5 Sawi Hijau



Gambar 6. Selada



Gambar 7. Daun kembang kol



Gambar 8. Komposisi Sayur:Buah



Gambar 9. Komposisi Sayur:Buah:Ikan



Gambar 10. Reaktor



Gambar 11. Perubahan Kulit Prepupa



Gambar 12. Larva Ikan Hari ke-21



Gambar 13. BSF pada sampah Ikan hari ke-9



Gambar 14. BSF pada sampah Ikan hari ke-12



Gambar 15 BSF sampah Sayur:buah 60 mg/larva hari ke-12



Gambar 16. Sampah sayur:buah 60 mg/larva.hari ke-9

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Elvita Sari Saragi. Penulis dilahirkan di Sungai Apit, Riau pada tanggal 27 April 1993. Penulis merupakan anak ke tiga dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 014 Sungai Apit, SMPN 01 Sungai Apit, dan SMAN 3 Siak, Riau. Pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan strata sarjananya di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS, dan terdaftar dengan NRP 3311100116. Semasa kuliah, penulis aktif sebagai anggota organisasi di Badan Eksekutif

Mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (BEM FTSP) dan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL ITS) sebagai staff di departemen Sosial Masyarakat pada periode 2012/2013 dan sebagai Ketua Persekutuan Doa Teknik Lingkungan periode 2013/2014. Penulis aktif diberbagai kegiatan kepanitiaan baik di dalam maupun di luar kampus. Penulis melakukan kerja praktek tahun 2014 di EMP Malacca Strait S.A, dengan judul Penerapan Identifikasi Bahaya di Proses Produksi Lalang *Platform Offshore* EMP Malacca Strait S.A. Segala kritik dan saran yang membangun dapat dikirimkan melalui email: [elvitasarisaragi@gmail.com](mailto:elvitasarisaragi@gmail.com)